
BACHELORARBEIT

Herr
Louis Lorenzen

**Der Akkomodation-Vergenz-
Konflikt als Grenze der stereo-
skopischen Bildgestaltung im
3D Kinofilm**

2014

BACHELORARBEIT

Der Akkomodation-Vergenz-Konflikt als Grenze der stereoskopischen Bildgestaltung im 3D Kinofilm

Autor:
Herr Louis Lorenzen

Studiengang:
Film und Fernsehen

Seminargruppe:
FF10w1-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. Detlef Gwosc

Zweitprüfer:
Daniele Siragusano

Einreichung:
Hamburg, 22.01.2014

BACHELOR THESIS

The vergence-accomodation-conflict as a limit in stereoscopic image design in 3D cinema features

author:

Mr. Louis Lorenzen

course of studies:

Movie and TV

seminar group:

FF10w1-B

first examiner:

Prof. Dr. Detlef Gwosc

second examiner:

Daniele Siragusano

submission:

Hamburg, 22.01.2014

Bibliografische Angaben:

Nachname, Vorname: Lorenzen, Louis

Der Akkomodation-Vergenz-Konflikt als Grenze der stereoskopischen Bildgestaltung im 3D Kinofilm

The vergence-accomodation-conflict as a limit in stereoscopic image design in 3D cinema features

2014 - 57 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2014

Abstract

Im stereoskopischen 3D Film werden räumliche Bilder über ein zweidimensionales Medium wiedergegeben. Dieser Umstand bewirkt den Akkomodation-Vergenz-Konflikt. Das Sehen stereoskopischer Bilder gleicht einer laufenden Wahrnehmungsverzerrung. Deshalb treten bei manchen Rezipienten Ermüdungserscheinungen und Kopfschmerzen auf, wenn sie einen 3D Film schauen.

Diese Arbeit überträgt die physischen Prozesse, des Sehens in einer realen Umgebung, auf das Sehen einer stereoskopischen Kinosituation. Anhand dieses Vergleichs wird erläutert, wie der Akkomodation-Vergenz-Konflikt zustande kommt. Im Weiteren wird anhand von Regularien zur Erhaltung des Sehkomforts in der Stereoskopie und stereographischen Arbeitsschritten untersucht, inwiefern der Akkomodation-Vergenz-Konflikt die Bildgestaltung im 3D Film beeinflusst.

Abschließend wird in einem Fazit erörtert, ob der Akkomodation-Vergenz-Konflikt eine Grenze in der stereoskopischen Bildgestaltung darstellt oder nicht.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VII
1 Die Einleitung.....	1
2 Die Tiefenwahrnehmung im realen Raum.....	3
2.1 Das Binokulares Sehen	3
2.1.1 Die Vergenz-Orthostellung.....	3
2.1.2 Die Akkomodation.....	5
2.1.3 Die Fusion.....	6
2.1.4 Die Akkomodation-Vergenz-Kopplung.....	8
2.2 Die Tiefeneindrücke.....	9
2.2.1 Die okulomotorischen Tiefeneindrücke.....	9
2.2.2 Die binokularen Tiefeneindrücke.....	9
2.2.3 Die monokularen Tiefeneindrücke.....	9
3 Die 3D Projektion – Von der Fläche zum Raum.....	12
3.1 Die positiven und negativen Parallaxen.....	12
3.2 Der Akkomodation-Vergenz-Konflikt.....	14
3.2.1 Der empirische Nachweis von Ermüdungserscheinungen.....	14
4 Der Sehkomfort und die Raumwahrnehmung.....	19
4.1 Die Komfort-Zone.....	20
4.1.1 Die Bedeutung relativer Parallaxen.....	23
4.2 Die Festlegung der Leinwandgröße.....	24
4.3 Optimale und nachteilige Betrachtungsabstände.....	25
4.3.1 Querdisparität vs. relative Parallaxen.....	26
4.4 Das komfortable Stereobudget.....	27
4.5 Die Stereoskopische Raumwahrnehmung.....	29
4.5.1 Das Objektvolumen und die Bewegung durch den Raum	29
4.5.2 Das ortho-stereoskopische Bild.....	32
4.5.3 Die Veränderung des interachsialen Abstandes.....	34
4.5.4 Die Veränderung der Brennweite.....	35
5 Das Stereobudget bestimmen.....	36

5.1	Brennweite vs. Raumwahrnehmung.....	38
5.2	Die Prozent-Regel.....	40
6	Die Tiefenkontinuität in Bildgestaltung und Montage.....	41
7	Das Fazit.....	43
	Literaturverzeichnis.....	X
	Eigenständigkeitserklärung.....	XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 2D-, 3D- und normale Brillen lassen Lichtwellen unterschiedlich auf unsere Augen treffen.....	1
Abbildung 2: Vergenz-Orthostellung unendlich fern (links), nah (rechts) (Goersch, 1980: S.17).....	3
Abbildung 3: 1: Fixationspunkt; 2: akkomodierte Linse (Ellipse); 3: einfallendes Licht; 4: rezeptive Felder; 5: Fovea Centralis (vgl. Hottong, 2011: Folie 5).....	4
Abbildung 4: 1.: Akkomodation für Fernsicht, 1.1: Querschnitt, 2.: Akkomodation für Kurzsicht, 2.1: Querschnitt, a: Ziliarmuskel, b: Zonularfasern, c: Augenlinse.....	5
Abbildung 5: Fixationspunkt (X) mit dazugehörigem Horopter (rot).....	6
Abbildung 6: Fixationspunkt (X), Horopter (rot), tuned-near Neuronen (gestrichelt vorne), tuned-far Neuronen (gestrichelt hinten), dazwischen Panumraum (grün und rosa) (vgl. Hottong, 2011: Folie 15).....	7
Abbildung 7: Aufzeichnung der Augenbewegungen (rot) und Fixationspunkte (gelb) einer Testperson zur Gesamtwahrnehmung einer Szene (Hottong, 2011: Folie 6).....	8
Abbildung 8: Linearperspektive, atmosphärische Perspektive.....	11
Abbildung 9: Verdeckung, Schattenverläufe, relative Größe.....	11
Abbildung 10: Linearperspektive, Texturgradient.....	11
Abbildung 11: Positive und Negative Prallaxen (vgl. Siragusano, 2010: S.7).....	12
Abbildung 12: Volumetrisches Display von S. Banks u.a., von oben (Top view) und seitlich (Side view) (Hoffman u.a., 2008: S.5).....	15
Abbildung 13: Balkendiagramm zur durchschnittlichen Schwere (no -, mild -, severe symptom) der von den Probanden evaluierten Symptome (Hoffman u.a., 2008: S.19)	16
Abbildung 14: Balkendiagramm zur vergleichenden Evaluierung zwischen inconsistent-cues und consistent-cues (Hoffman u.a., 2008: S.20).....	17

Abbildung 15: Abszisse oben und unten: Vergenzzentfernung in Dioptrin und Metern, Ordinate links und rechts: Betrachtungsabstand in Dioptrin und Metern, Quadrate: 3D Fixationen, Kreise: reale Fixationen (Hoffman u.a., 2008: S.4).....	20
Abbildung 16: Ordinate: Betrachtungsabstand in Dioptrin, Abszisse: Vergenzzentfernung in Dioptrin, Kontinuierliche Komfortzone: orange (Shibata u.a., 2011: S.26).....	21
Abbildung 17: Ordinate: Vergenzzentfernung in m; Abszisse: Betrachtungsabstand in m; blau und rot begrenzen die Komfortzone, Near: für negative Parallaxe, Far: für positive Parallaxe; schwarz: natürliches Sehen (Shibata u.a., 2011: S.23).....	22
Abbildung 18: Schematische Übersicht der Betrachtungsabstände von sweet-spot, bad-spot und first row, in einem Kinosaal (Siragusano, 2010: S.4).....	26
Abbildung 19: L, R: Auge links, rechts; blau: Ausgangsfixation und Fixationslinien; grün: Konvergenzwinkeländerung um 5°; pink: Divergenzwinkeländerung um 5°.....	28
Abbildung 20: links: Positionierung des Würfels vor den Augen; rechts: Bewegungsrichtung des Würfels Richtung Unendlichkeit; d: Fixationslinie des linken Auges und zunehmende Entfernung der Augen zum Würfel; pd: Augenabstand 65mm; width: Seitenmaß des Würfels (Siragusano, 2011: S.2).....	30
Abbildung 21: Ordinate: y; Abszisse: d in Meter (Siragusano, 2011: S.2).....	31
Abbildung 22: Ortho-stereoskopisches Kamerasetting, image plane (dt. Bildsensor): rot, variierende Tiefe; blau, variierende Breite (Siragusano, 2011: S.3).....	32
Abbildung 23: Ordinate: y, vgl. Kap. 4.5.2; Abszisse: Kameraanstand, d in Metern; Farbspektrum blau - rot: interachsiale Abstände von 0,65-10 cm; dunkelblau: ortho-stereoskopisches Bild (Siragusano, 2011: S.4).....	34
Abbildung 24: Ordinate: relative Parallaxe; Abszisse: Kameraentfernung; Farbspektrum blau - rot: Brennweiten von 10mm – 100mm (Siragusano, 2011: S.6).....	37
Abbildung 25: Ordinate: relative Parallaxe; Abszisse: Kameraentfernung; Farbspektrum blau - rot: interachsiale Abstände von 1cm – 10cm (Siragusano, 2011: S.6).....	37
Abbildung 26: Ordinate: Verhältnis der Breite zur Tiefe; Abszisse: Entfernung des Objekts (bzw. Würfels vgl. 4.5.1) zur Kamera; blau gestrichelte Linie: natürliches Verhältnisse bei ortho-stereoskopischem Kamerasetting; Farbspektrum blau - rot: Abweichendes Verhältnis bei Brennweiten von 10mm – 100mm (Siragusano, 2011: S.7).....	38

1 Die Einleitung

Der stereoskopische 3D Film gibt dem modernen Kino neuen Reiz. Er wirkt realer und räumlicher, das Gesehene somit authentischer. Viele Filmmacher wollen daher gar nicht mehr ohne stereoskopisches 3D arbeiten. Doch es dauerte nicht lange bis negative Rezensionen laut wurden: bspw. „Schmerzen beim Blick in die dritte Dimension“¹ und „3D-Filme können Kopfschmerzen auslösen“². Menschen klagten über Kopfschmerzen, Unwohlsein und Sehbeschwerden nach dem Kinobesuch. Es begann sogar die Vermarktung so genannter 2D Brillen für 3D Kinofilme, deren Polarisationsfilter nur eines der beiden stereoskopischen Bilder heraus selektierten.

Die im Kino verwendeten 3D Projektoren werfen simultan zwei Bilder auf eine Leinwand, die von dieser in zwei unterschiedlichen Wellenlängen (Abb.1: rot und grün) auf das Publikum reflektiert werden. Polarisationsfilter lassen aufgrund ihrer Beschaffenheit nur eine bestimmte Wellenlänge hindurch. So kann nur das jeweilige Bild, mit der korrekten Wellenlänge, auf das Auge hinter dem Filter fallen. Trägt der Rezipient nun eine Brille mit nur einem verbauten Filtertyp, trifft auf beide Augen das selbe Bild (Abb.1: grün). Die 2D Brille hebt somit den stereoskopischen 3D-Effekt auf und dadurch die Ursache der Kopfschmerzen. Doch den 3D Effekt zu genießen, indem man ihn aufhebt, ist an sich vollkommen absurd.



Abbildung 1: 2D-, 3D- und normale Brillen lassen Lichtwellen unterschiedlich auf unsere Augen treffen

1 Westphalen Post, 19.01.2010

2 Welt.de, 11.01.2010

Zur Erörterung eines konstruktiven Umgangs mit der Sehproblematik, vergleicht diese Arbeit zunächst die reale Sehsituation (siehe Kap. 2) mit der Sehsituation eines stereoskopischen 3D Bildes (siehe Kap. 3). Anhand dieses Vergleichs wird dann auch deutlich, warum die 3D Brille zwei unterschiedliche Bilder selektiert und unser Hirn diese zu einem räumlichen Eindruck fusioniert.

Weiterführend soll herausgearbeitet werden, dass der sogenannte Akkomodation-Vergenz-Konflikt zu einer Überreizung des Hirns führt (siehe Kap. 3.2). Da der anfängliche, ungeübte Umgang mit diesem Konflikt beim Kinopublikum bereits zu Unwohlsein geführt hat, stellt er die Filmemacher in eine neue Verantwortung. Neben den herkömmlichen Ansprüchen an funktionierende Dramaturgien, angemessene Inszenierungen und packende Bilder geht es nun zusätzlich darum, einen Sehkomfort aufrechtzuerhalten welcher den Zuschauer beschwerdefrei durch das Kinoerlebnis führt. In dieser Arbeit möchte ich daher abschließend untersuchen, ob und inwiefern eine technische Berücksichtigung des Sehkomforts, der stereoskopischen Arbeit im Kinofilm Grenzen setzt (siehe Kap. 4 ff.). Die Ergebnisse der Untersuchungen werden abschließend in einem Fazit zusammengetragen und der Akkomodation-Vergenz-Konflikt als Grenze der stereoskopischen Bildgestaltung erörtert (siehe Kap. 7).

2 Die Tiefenwahrnehmung im realen Raum

Das Sehen ist ein physiologischer Vorgang, bei dem mit einfallendem Licht in die Augen, viele Prozesse simultan und wechselwirkend in Erscheinung treten. Bestimmte neuronale Reizleitungen sind bisher nicht einmal erforscht. Es ist weiterhin darauf hinzuweisen, dass daher nicht auf alle Prozesse des Sehvorganges eingegangen wird. Die einzelnen Beschreibungen arbeiten lediglich auf die Herleitung des Akkomodation-Vergenz-Konflikts hin, welcher bei der Betrachtung eines stereoskopischen Inhalts über ein zweidimensionales Medium (Kinoleinwand, Fernseher etc.) auftritt.

2.1 Das Binokulares Sehen

2.1.1 Die Vergenz-Orthostellung

Betrachtet man die visuelle Gesamtwahrnehmung in dem Moment der Fixation eines einzigen Punktes innerhalb einer Szenerie, befinden sich die Augen in der Vergenz-Orthostellung.

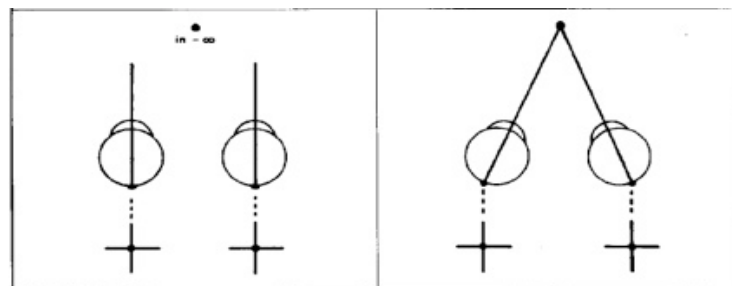


Abbildung 2: Vergenz-Orthostellung unendlich fern (links), nah (rechts) (Goersch, 1980: S.17)

Hierbei sind die Augen so ausgerichtet, dass der vom Fixationspunkt ausgehende Lichteinfall durch die Augenlinsen direkt auf die Netzhautgruben trifft. Denkt man sich das durch die Augenlinse einfallende Licht als Strecke, die von der Netzhautgrube bis zum Fixationspunkt verläuft, erhält man die beiden Fixierlinien. Bei nahen Objekten konvergieren die Augen, ihre Fixierlinien treffen sich im Fixationspunkt (Abb. 2 rechts). Fixiert man Objekte in der Ferne, divergieren die Augen immer weiter, bis beide Fixierlinien parallel zueinander ausgerichtet sind (Abb. 2 links). So wird sichergestellt, dass

unabhängig von der Entfernung, sämtliches Licht immer auf die Gruben fällt.³ Im Zentrum der Netzhautgrube befindet sich die Fovea Centralis. An dieser Stelle ist die Dichte zusammengeschalteter Photorezeptoren am größten. Die Zusammenschaltung von Rezeptoren ergibt rezeptive Felder, deren Größe von der Fovea Centralis ausgehend immer weiter zunimmt⁴ (siehe Abb. 3).

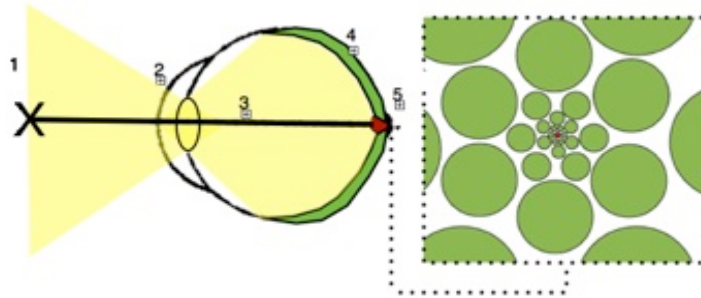


Abbildung 3: 1: Fixationspunkt; 2: akkomodierte Linse (Ellipse); 3: einfallendes Licht; 4: rezeptive Felder; 5: Fovea Centralis (vgl. Hottong, 2011: Folie 5)

Bipolare Zellen, welche mit den Photorezeptoren vernetzt sind, verrechnen und kodieren das Signal eines rezeptiven Feldes und leiten es an eine Ganglienzelle weiter. Bei zunehmender Größe der rezeptiven Felder, nimmt also die Informationsdichte ab. Somit nimmt auch die maximale Farb- und Kontrastverarbeitung um die Fovea Centralis herum und damit ebenfalls vom Fixationspunkt ausgehend, ebenfalls nach außen hin ab.⁵

Deshalb findet sich in der Vergenz-Orthostellung lediglich die bestmögliche visuelle Auflösung eines einzelnen Fixationspunktes der betrachteten Szenerie. Da die rezeptiven Felder sich allerdings über die gesamte Netzhaut erstrecken, nehmen wir trotzdem die Anwesenheit anderer Objekte und Bewegungen wahr. Unsere Aufmerksamkeit liegt also immer auf der gesamten Umgebung um den fixierten Punkt herum.

3 Vgl. Goersch, 1980: S. 17

4 Vgl. Hottong, 2011: Folie 5

5 Vgl. O.V., 2011: S. 2

2.1.2 Die Akkomodation

Die Vergenz-Orthostellung richtet unseren Blick nur auf einen Fixationspunkt zur Zeit aus. Unsere Augenlinsen bündeln jedoch auch Lichtwellen die von unmittelbar umliegenden Objektpunkten auf unsere Augen fallen. Das maximiert den scharf gezeichneten Bereich auf der Netzhaut.

Da sich mit der Vergenzwinkeländerung der Fixierlinien, von Nah zu Fern und umgekehrt, immer die Intensität und die Gerichtetheit der Lichtwellen ändern, bedarf es allerdings unterschiedlicher Brennweiten, um das Licht in in den Netzhautgruben zu bündeln. Bei diesem Vorgang stimmen neuronale Reize die Krümmung unserer flexiblen Augenlinsen, auf das einfallende Licht ab. Je näher sich der Fixationspunkt dabei befindet, desto flacher ist die Form der Linse, je weiter entfernt er liegt, desto runder ist sie. Um den Grad der Linsenkrümmung zu regulieren, treten zwei gegenwirkende Kräfte in Erscheinung. Die Augenlinse strebt stets den runden Zustand an. Sie ist über Zonularfasern mit dem ringförmigen Ziliarkörper verbunden. Zieht sich der Ziliarmuskel zusammen, entspannen sich diese Fasern und die Linse krümmt sich für die Fernsicht. Entspannt sich der Ziliarmuskel, üben die Zonularfasern einen Zug auf die Linse aus. So wird sie für die Kurzsicht abgeflacht⁶ (siehe Abb. 5).

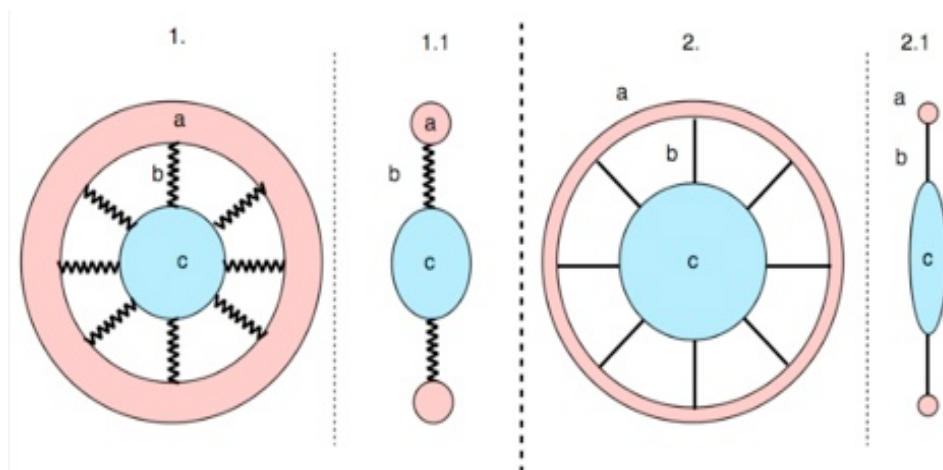


Abbildung 4: 1.: Akkomodation für Fernsicht, 1.1: Querschnitt, 2.: Akkomodation für Kurzsicht, 2.1: Querschnitt, a: Ziliarmuskel, b: Zonularfasern, c: Augenlinse

6 Vgl. Strasburger u.a., 2010: S. 7

2.1.3 Die Fusion

Betrachtet man die Szenerie um einen Fixationspunkt herum abwechselnd mit jeweils einem Auge, so fällt einem schnell ein Bildversatz (interokulare Parallaxe) auf. Dies hängt damit zusammen, dass die Augen zwar auf einer Höhe, jedoch horizontal getrennt voneinander im Gesicht sitzen. So nimmt das linke Auge eine andere Winkelposition zum Fixationspunkt ein, als das rechte⁷. Die unterschiedlichen Winkelpositionen führen zu Lichteinstrahlungen von Objektpunkten in das linke Auge, während sie für das rechte verdeckt liegen und umgekehrt. Im Schema der Vergenz-Orthostellung gesprochen, transportiert das Licht entlang der Fixierlinien beider Augen also teils korrespondierende Reize und teils disparate Reize.

Ein Gehirn dass Stereosicht gewohnt ist, verrechnet beide Netzhautbilder mit einander und berücksichtigt dabei sowohl korrespondierende Bildpunkte, als auch disparate. So enthält das zyklisch fusionierte Bild in unserem Kopf, sowohl die Parallaxe des linken Auges, disparat zum rechten Netzhautbild (siehe Abb. 5 grün) und korrelativ die Parallaxe im rechten Auge, disparat zum linken Netzhautbild (siehe Abb. 5 rosa). Die Neuronen, die diese sogenannte Querdisparität miteinander verrechnen, heißen Stereoneuronen.

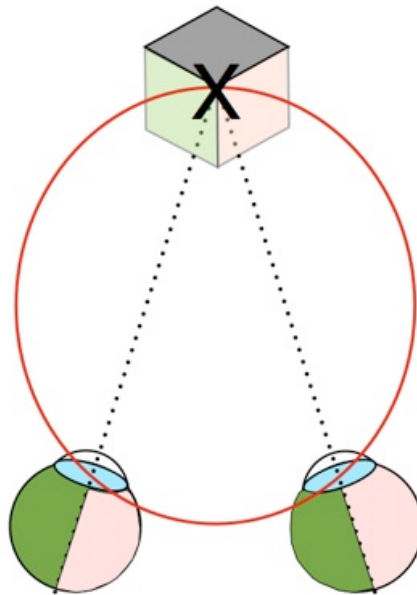


Abbildung 5: Fixationspunkt (X) mit dazugehörigem Horopter (rot)

⁷ Vgl. Strasburger u.a., 2010: S. 14

Stereoneuronen lassen sich in drei Gruppen einteilen: tuned-far, tuned-near und tuned-zero⁸. Die Reize, auf welche sie sich beziehen, lassen sich theoretisch gut lokalisieren. Denkt man sich einen Kreisbogen der sowohl den Fixationspunkt schneidet als auch die Punkte, in denen die Augenlinsen das einstrahlende Licht bündeln, erhält man den sogenannten Horopter (Abb. 5). Alle Objektpunkte, die innerhalb des Sichtfeldes auf dem Horopter liegen, weisen den selben Augenabstand zum Betrachter auf. Ändern sich die Vergenz-Orthostellung und die Akkomodation, angepasst an die Entfernung des Fixationspunktes, so ändert sich also auch der dazugehörige Horopter.

Die dem Horopter entsprechenden Bildpunkte auf der Netzhaut korrespondieren in beiden Augen. Sie werden von den tuned-zero Neuronen verarbeitet. Die Parallaxen, also alle disparaten Bildpunkte in denen die Gerichtetheit der beiden Netzhautbilder voneinander abweicht, werden von tuned-near und tuned-far Neuronen verarbeitet (siehe Abb. 6).

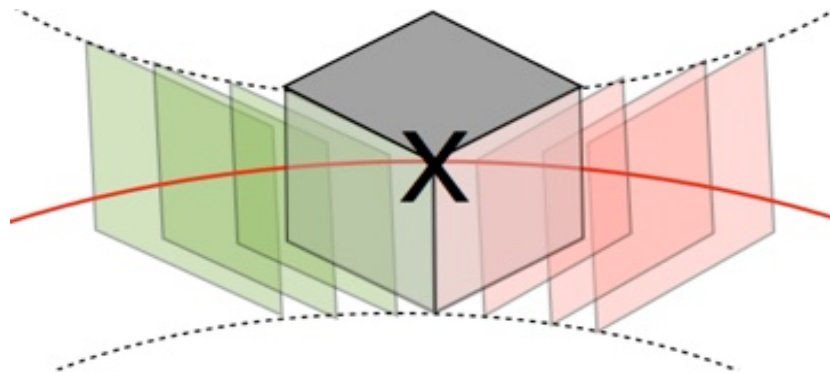


Abbildung 6: Fixationspunkt (X), Horopter (rot), tuned-near Neuronen (gestrichelt vorne), tuned-far Neuronen (gestrichelt hinten), dazwischen Panumraum (grün und rosa)(vgl. Hottong,2011: Folie 15)

Wie anfänglich durch den Vorgang der Akkomodation unserer Augenlinsen beschrieben, kann jedoch immer nur einen Bruchteil der betrachteten Szenerie, um den Fixationspunkt herum, scharf auf der Netzhaut abgebildet werden. Diese Abhängigkeit in der Reizleitung an die Stereoneuronen, ergänzt sich durch die Beschaffenheit der Netzhautgruben. Geht man von einer korrekten Vergenz-Orthostellung aus und der Fixationspunkt fällt auf die fovea centralis beider Augen, werden alle umliegenden Bildpunkte nicht nur weniger scharf abgebildet, sondern auch schlechter aufgelöst. Denn die Ganglienzellen verrechnen, von der fovea centralis ausgehend, Informationen von immer größer werdenden rezeptiven Feldern (siehe Kap. 2.1).

8 Vgl. Strasburger u.a., 2010: S. 15

Diese Faktoren begrenzen die Summe an scharfen, disparaten Bildpunkten, die von den tuned-near und tuned-far Neuronen verarbeitet werden können. Dieser Wirkungsbereich des räumlichen Sehens, wird als Panumraum bezeichnet (siehe Abb. 6 grün und rosa)⁹.

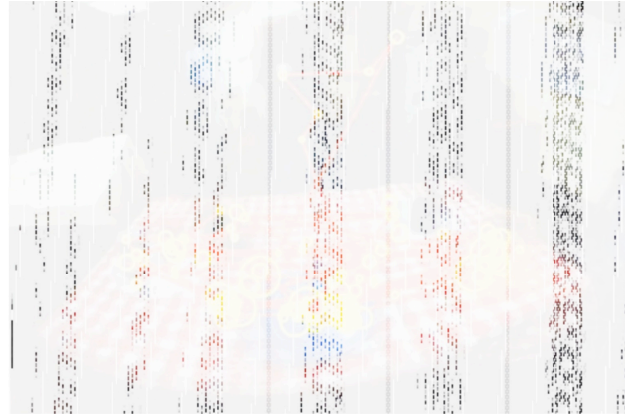


Abbildung 7: Aufzeichnung der Augenbewegungen (rot) und Fixationspunkte (gelb) einer Testperson zur Gesamtwahrnehmung einer Szene (Hottong, 2011: Folie 6)

Alle disparaten Bildpunkte die über den Panumraum hinausgehen, können nicht mehr zu einem scharfen, räumlichen Seheindruck fusioniert werden und begrenzen das Feld klarer Sicht. Dies veranlasst unser Hirn von Geburt an zu lernen, Szenerien kontinuierlich über wechselnde Fixationspunkte abzutasten, um uns einen genaueren Eindruck von einer Szenerie machen zu können (siehe Abb. 7).

2.1.4 Die Akkomodation-Vergenz-Kopplung

Beim binokularen Sehen ändern wir den Fixationspunkt über ein Konvergieren und Divergieren der Augen. Mit wechselndem Fixationspunkt vergrößert oder verkleinert sich gleichzeitig die Entfernung unseres Augenpaares zum betrachteten Fixationspunkt. Da sich mit der Entfernung die Intensität und die Gerichtetheit der Lichtwellen ändert, müssen unsere Augenlinsen den Grad der Akkomodation ebenfalls ändern. So wird sichergestellt, dass der Lichteinfall zentriert auf die Fovea Centralis stattfinden kann. Diesen Zustand optimalen, räumlichen Sehens, mit zwei aufeinander abgestimmten Augen, nennt man Stereopsis.

Unser Hirn strebt immer die bestmögliche Stereopsis an, die dem individuellen Sehvermögen zugrunde liegt. So lernt es unabhängig von der Genauigkeit von Akkomodation und Vergenz, diese Prozesse aneinander zu koppeln. Durch das Streben nach klarer

⁹ Vgl. Goersch 1980: S. 17

Sicht, die Gewöhnung an unsere reale Umgebung und der ihr zu Grunde liegenden Physik, ermöglicht die Kopplung eine Beschleunigung unserer visuellen Verarbeitung¹⁰.

2.2 Die Tiefeneindrücke

Die Tiefeneindrücke, aus denen sich unsere Tiefenwahrnehmung bildet, lassen sich in drei Rubriken einteilen. Allerdings treten bei einer korrekten Stereopsis alle Tiefeneindrücke gleichzeitig auf. Erst aus ihrer Summe ergibt sich die vollständige Raumwahrnehmung.

2.2.1 Die okulomotorischen Tiefeneindrücke

Diese Tiefeneindrücke sind physisch fühlbar. Das Konvergieren und Divergieren der Augen und die Akkomodation der Linse werden von Muskeln und Muskelgruppen gesteuert. Sie vermitteln uns ein Gefühl davon, wie nah dran oder weit entfernt Fixationen sind.

2.2.2 Die binokularen Tiefeneindrücke

Diese Tiefeneindrücke sind rein sensorisch. Sie bezeichnen die räumliche Verrechnung der Querdisparität, aus der interokularen Parallaxe zwischen beiden Augen, hin zu einem fusionierten, zyklischen und räumlichen Bild.

2.2.3 Die monokularen Tiefeneindrücke¹¹

Diese Tiefeneindrücke rühren von rein visuellen Aspekten unserer Umwelt her. Daher lassen sie sich auch mit nur einem Auge wahrnehmen.

1. Die Verdeckung: Sie ist der visuell stärkste Tiefeneindruck, da jeweils ein Gegenstand zwangsweise vorgelagert bzw. hintergelagert ist, sobald eine Verdeckung vorliegt (siehe Abb. 9).
2. Die Linearperspektive: Sie bezeichnet die Tatsache, dass bei der Betrachtung von Szenerien, parallele Höhen als auch Breiten und Tiefen eines Objektes mit zunehmender Entfernung, vom Betrachter ausgehend, immer gestauchter er-

¹⁰ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 3

¹¹ Vgl. Strasburger u.a., 2010: S. 11-14

scheinen. Dabei streben in die Raumtiefe führende Linien auf einen gemeinsamen Punkt zu. Dies ist der sogenannte Fluchtpunkt. Je nach Ausrichtung und Anzahl der Objekte, können in einer Szenerie auch mehrere Fluchtpunkte vorhanden sein (siehe Abb. 8, 10).

3. Der Texturgradient: Er hängt von den gleichen Parametern ab wie die Linearperspektive. Je näher man sich an einem Objekt befindet, desto genauer ist seine Textur (bspw. ein Relief oder Muster) auf seiner Oberfläche erkenntlich. Entfernt man sich von dem Objekt, nimmt der Gradient zu einer Einfarbigkeit hin ab. Dieser Effekt ergänzt sich im Freien durch die atmosphärische Perspektive (siehe 6.) (siehe Abb. 10).
4. Der Schatten und die Schattenverläufe: Licht kommt der Seherfahrung nach immer von entsprechenden Lichtquellen, wie einer Lampe oder der Sonne. So sind Flächen hell wenn sie einer Lichtquelle zugewandt sind und umso heller, je näher sie sich an einer Lichtquelle befinden. Umgekehrt werden sie mit zunehmender Entfernung oder mit der Abwendung vom Licht dunkler. Doch auch physiologisch ist die Reizüberflutung unseres Sehapparates, durch zu starken Lichteinfall, als Druck auf den Augen spürbar (siehe Abb. 9).
5. Die relative Größe: Der Eindruck der relativen Größe eines Objekts entsteht in Relation mit Objekten, die als auf der selben Distanz befindlich wahrgenommen (oder vorgestellt) werden (siehe Abb. 9).
6. Die relative Höhe: Der Eindruck der relativen Höhe entstammt der Relation zwischen dem untersten und obersten Punkt eines Objektes zum Horizont (bzw. zum Fluchtpunkt eines Raumes). Mit zunehmender Entfernung nähern sich ihm diese Punkte, bis gegebenenfalls selbst der höchste Punkt unterhalb des Horizonts liegt. Bei der Annäherung entfernen sich die Punkte vom Horizont. So erhalten wir anhand unserer Bewegung durch den Raum, einen relativen Eindruck von der Höhe.
7. Die atmosphärische Perspektive: Sie bezeichnet den Effekt, der in der Luft befindlichen Feuchtigkeit, unser Blickfeld auf lange Distanzen durch einen unscharfen Schleier zu beschränken. Je weiter das Objekt in der Ferne liegt, desto mehr scheint der farbliche Kontrast abzunehmen. Bei wolkenfreiem, blauen Himmel, wird dieser Effekt durch einen weiteren ergänzt: So wirken Objekte in der Ferne bei reduziertem Kontrast zusätzlich bläulich. Diese Wirkung nimmt ab, wenn man sich ihnen nähert und gilt daher neben der Verdeckung, als einer der stärksten Tiefeneindrücke (siehe Abb 8).



Abbildung 8: Linearperspektive, atmosphärische Perspektive



Abbildung 9: Verdeckung, Schattenverläufe, relative Größe



Abbildung 10: Linearperspektive, Texturgradient

3 Die 3D Projektion – Von der Fläche zum Raum

3.1 Die positiven und negativen Parallaxen

Um stereoskopische Bilder zu filmen, arbeitet man mit zwei simultan aufzeichnenden Kameras. An dieser Stelle erklärt sich nun auch, warum die 3D Brille mittels Polarisationsfilter, jedem Auge ein Kamerabild zuweist: Die Kameras generieren das Filmbild stellvertretend für die Augen (Abb. 11: L, linkes Auge; R, rechtes Auge) des Rezipienten.

Beide Kameraoptiken werden wie unsere Augen durch einen horizontalen Abstand getrennt und auf einen gemeinsamen Fixationspunkt ausgerichtet. Diesen Abstand nennt man Stereobasis.

Da der Rezipient im Kino mit seinen Augen die Leinwand fixiert, liegt die Tiefenebene mit dem Fixationspunkt beider Kameras später direkt auf der Kinoleinwand (Abb. 11: rotes X). Erst die vorgelagerten Bereiche (off-screen, Abb. 11: 1, 3: f) oder hintergelagerten Bereiche (in-screen, Abb. 11: 1, 3: e), von der Leinwand ausgehend, weisen Parallaxen zwischen linkem (Abb. 11: 1, 2: a,d) und rechtem (Abb. 11: 1, 2: b,c) Kamerabild auf.

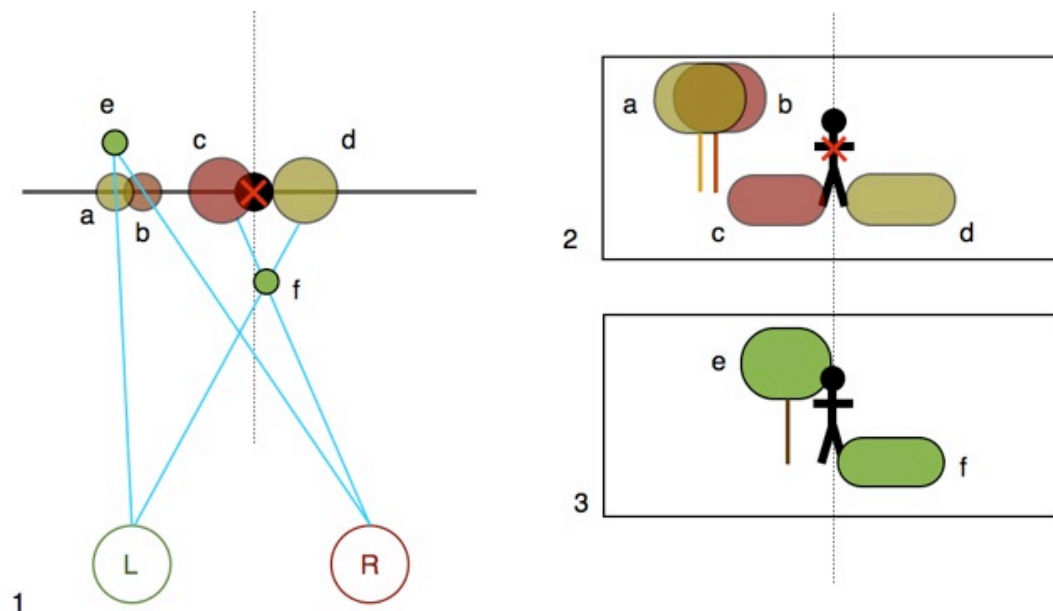


Abbildung 11: Positive und Negative Parallaxen (vgl. Siragusano, 2010: S.7)

Objekte die sich in-screen befinden, werden aus positiven Parallaxen fusioniert. Bei der Fixation führen die Fixierlinien (Abb. 11: hier, hellblau) durch die Leinwand hindurch. Man nutzt daher auch den Terminus behind-the-screen. Teilt man die Leinwand, von der Mitte ausgehend in zwei Hälften (Abb. 11: gestrichelte Linien), befinden sich ihre korrespondierenden Bildpunkte immer auf der selben Seite (Abb. 11: 1, 2: a,b). Die Bildpunkte des rechten Bildes liegen weiter rechts, die des linken weiter links. Je größer die positive Parallaxe, desto tiefer der fixierbare Punkt.

Objekte die sich off-screen befinden, werden aus negativen Parallaxen fusioniert. Ihre korrespondierenden Bildpunkte liegen teils (oder komplett) auf jeweils unterschiedlichen Seiten. Sie weisen also im Vergleich zu in-screen Objekten einen genau umgekehrten Versatz auf (Abb. 11: 1, 2: a, b vgl. c, d). Die Augen des Rezipienten konvergieren auf einen Punkt vor der Leinwand. Durch die räumliche Fusion negativer Parallaxen, dringen Objekte in den Zuschauerraum vor (out-of-screen Effekt, siehe Abb. 11: f). Je größer die negative Parallaxe, desto weiter.

Die Staffelung von Busch, Mensch und Baum (Abb. 11: 3) zeigt, wie sich von negativen Parallaxen vor der Leinwand, zu positiven Parallaxen Hinter der Leinwand (Abb. 11: 1, 2) erst durch die Fusion, der räumliche Eindruck ergibt. Die Leinwand welche diese Parallaxen reflektiert, bezeichnet man daher auch als das Scheinfenster, durch welches bzw. über welches man eine Szenerie betrachtet.

3.2 Der Akkomodation-Vergenz-Konflikt

Wie in Kap. 2.1.4 beschrieben ist, sind Akkomodation und Vergenz von unserem Hirn miteinander gekoppelt. Der gemeinsame Parameter der zu dieser Kopplung führte, ist der Betrachtungsabstand. Er legt sowohl den Grad der Vergenz, als auch die Intensität des ins Auge hineinfallenden Lichts fest. Dies ist wiederum für die Akkomodation entscheidend.

Bei einem Kinobesuch nimmt jeder Rezipient den ihm zugewiesenen Platz ein. Damit ist sein Betrachtungsabstand für die Dauer des Filmes festgelegt. In einem abgedunkelten Kinosaal ist zudem die Leinwand die einzige Lichtquelle. Beim Betrachten der stereoskopischen Bilder, legt sie daher die Intensität für das ins Auge einfallende Licht fest. Unsere Augen akkomodieren also stets auf die Leinwand.

Durch die Fusion der Bilder zu einem zyklisch, räumlichen Bild, eröffnen sich dem Betrachter über Fixationspunkte nun allerdings off- und inscreen Ebenen (Abb. 11: 3: e, f), die vor- und hinter der Leinwand liegen. Um unterschiedliche Fixationen zu machen, muss das Hirn daher die Vergenz von der Akkomodation entkoppeln und gleichzeitig die Fusion aufrecht erhalten. Dies hat zur Folge, dass die Vergenzentfernung bei out-of-screen Effekten kürzer ist und bei behind-the-screen Effekten länger, als der Betrachtungsabstand (Abb. 11: 1: e: die Fixierlinien schneiden sich erst hinter der Leinwand, f: die Fixierlinien schneiden sich schon vor der Leinwand)¹². Anders formuliert signalisiert das stereoskopische 3D Bild dem Hirn eine ständige Wahrnehmungsverzerrung, gegen die es angehen muss.

3.2.1 Der empirische Nachweis von Ermüdungserscheinungen

Martin S. Banks von der University of California, hat den Akkomodation-Vergenz-Konflikt als möglichen Auslöser für Ermüdungserscheinungen und Kopfschmerzen untersucht. Um die genauen Auswirkungen des Konflikts auf die räumliche Wahrnehmung, die binokulare Fusion und die Erschöpfungserscheinungen genauer untersuchen zu können, hat sein Forschungsteam eine Versuchsreihe entwickelt.¹³

Zur Durchführung dieser Experimente wurde ein spezieller Apparat entwickelt. Dieser besteht aus sechs Bildschirmen, jeweils einem für jedes Auge, auf drei unterschiedlichen Distanzen: nah, mittel und fern (siehe Abb. 12: Top view). Vor diesen Apparat

¹² Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 3-4

¹³ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 1

werden die Probanden mit dem Kopf fixiert, so entsteht ein fester Betrachtungsabstand, vergleichbar mit der Sehsituation im Kino.

Über eine Spiegelkonstruktion werden den Probanden nun Bilder über die drei Distanzen gezeigt. Die Spiegel zur Weiterleitung der Bildschirme auf naher und mittlerer Distanz sind halbtransparent (siehe Abb. 122: Side view). Somit können die Augen durch sie hindurch konvergieren (von fern auf mittel, von mittel auf nah) und divergieren (von nah auf mittel, von mittel auf fern). Auf diese Weise ermöglicht die Konstruktion, das Maß und die Verortung des Akkomodation-Vergenz-Konflikts selbst festzulegen und messbar zu machen. Die Akkomodation findet in dem Apparat nämlich natürlich statt: Ist ein Bildschirm aktiv, geht von ihm auch das einfallende Licht aus. Erscheint vor oder hinter dem Schirm ein weiteres Bild, ist das Hirn bei der Fixation veranlasst, die Vergenz von der Akkomodation zu entkoppeln.

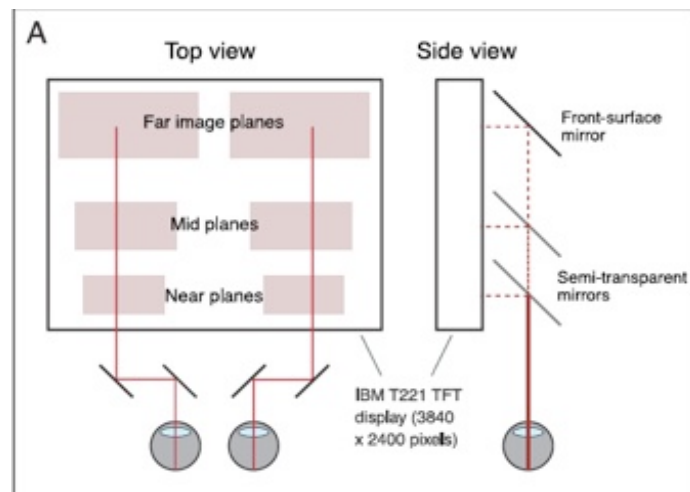


Abbildung 12: Volumetrisches Display von S. Banks u.a., von oben (Top view) und seitlich (Side view) (Hoffman u.a., 2008: S.5)

An der Versuchsreihe zur Untersuchung der Erschöpfung und des Unwohlseins durch den Akkomodation-Vergenz-Konflikt, nahmen 11 Probanden im Alter zwischen 23 und 31 Jahren teil. Ältere Probanden wurden nicht zugelassen, da die Flexibilität der Augenlinse mit zunehmendem Alter abnimmt¹⁴. Dadurch würde der Konflikt nochmals verschärfter zutage treten. Dies ist zwar ein wichtiger Aspekt für die Massentauglichkeit eines Kinofilms, jedoch für einen generalisierbaren Befund nicht geeignet.

Jeder Proband musste 2 komplette Sitzungen absolvieren, während derer er keine Pause einlegen durfte. Diese fanden an zwei aufeinander folgenden Tagen statt. An einem Tag wurden Stereobilder gezeigt, die einen Konflikt verursachen (cues-inconsis-

¹⁴ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 17

tent, Abb. 13: blau). Die Akkomodation erfolgte immer durch den Bildschirm auf mittlerer Distanz, während die Vergenz sich nach Fixationen auf allen drei Distanzen richtete. An dem anderen Tag fand die Sitzung ohne Konflikt (cues consistent, Abb. 13: orange) statt. Die Vergenzentfernung entsprach hierbei immer dem Betrachtungsabstand. In jeder Sitzung wurden 1230 Bilder über einen Zeitraum von 45 min. gezeigt. Jedoch wusste ein Proband nie welche Sitzung gerade anstand, um nicht voreingenommen auf die nachfolgende Evaluierung reagieren zu können.¹⁵

Nach jedem Durchlauf wurden den Probanden fünf Fragen¹⁶ gestellt (1- 5, vgl. Abb. 13: von links nach rechts):

- 1) Wie müde sind Ihre Augen?
- 2) Wie klar schätzen sie Ihre Sicht nun ein?
- 3) Wie müde und schmerzhaft fühlen sich Ihr Nacken und Ihr Rücken an?
- 4) Wie steht es um die Befindlichkeit Ihrer Augen?
- 5) Wie steht es um die Befindlichkeit Ihres Kopfes?

Während sich die Fragen 1, 2, 4 und 5 mit den zu untersuchenden Aspekten befassten, wurde 3 als Kontrollfrage etabliert, da Nacken und Rücken in beiden Sitzungen auf die selbe Art und Weise beansprucht wurden.¹⁷

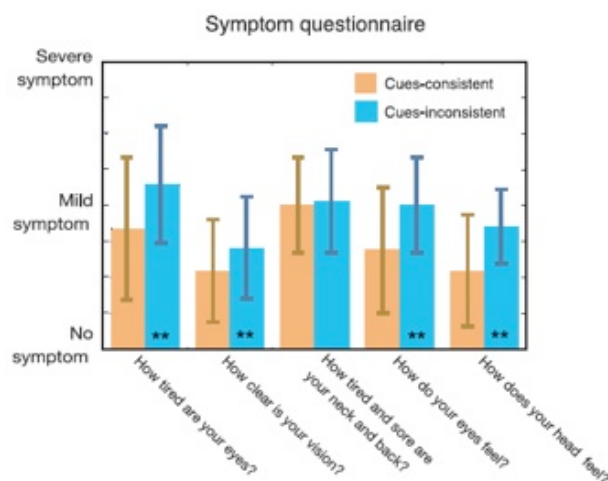


Abbildung 13: Balkendiagramm zur durchschnittlichen Schwere (no -, mild -, severe symptom) der von den Probanden evaluierten Symptome (Hoffman u.a., 2008: S.19)

¹⁵ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 17

¹⁶ Hoffman u.a., 2008: S. 18

¹⁷ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 18

Das Balkendiagramm der Evaluierung zeigt deutlich die eklatanten Auswirkungen auf die Ermüdungserscheinungen, wenn das Hirn veranlasst ist, der Entkopplung von Akkomodation und Vergenz entgegen zu wirken. Je schwerer die Symptome auftraten, desto höher die entsprechenden Balken im Diagramm. Die Fragen 1, 2, 4 und 5 weisen erhebliche Unterschiede auf. Die Ergebnisse der Kontrollfrage 3 weisen wie erwartet, keine großen Abweichungen zueinander auf.¹⁸ Jedoch kann man sagen, dass sich der Durchlauf mit inconsistent-cues generell negativer auf das gesamte Wohlbefinden der Probanden auswirkte. Dies ist ein starkes Argument dafür, wie wichtig der Sehkomfort bei stereoskopischen Inhalten ist.

Nach der Absolvierung beider Testtage wurden die Probanden gebeten, noch einmal an dem Versuch teilzunehmen. Diesmal sollten die jeweiligen Sitzungen von dem Probanden verglichen werden. Hierzu wurde auf folgende Fragen¹⁹ zurückgegriffen (1- 4, vgl. Abb. 14: von links nach rechts):

- 1) Welche Sitzung war am ermüdendsten?
- 2) Welche Sitzung hat Ihre Augen am meisten irritiert?
- 3) Wenn Sie Kopfschmerzen verspürten, welche Sitzung war schlimmer?
- 4) Welche Sitzung würden Sie der anderen vorziehen?

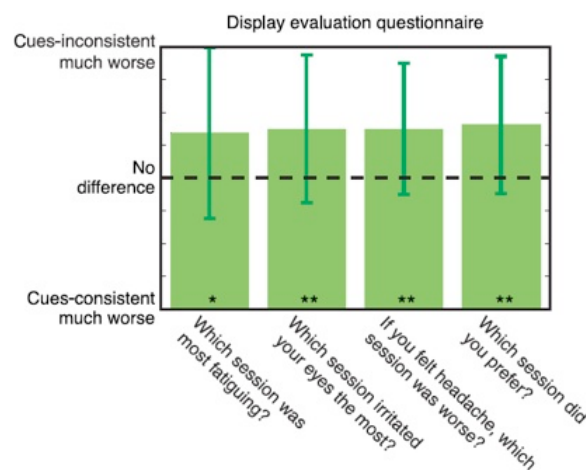


Abbildung 14: Balkendiagramm zur vergleichenden Evaluierung zwischen inconsistent-cues und consistent-cues
(Hoffman u.a., 2008: S.20)

¹⁸ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 19

¹⁹ Hoffman u.a., 2008: S. 18

Das Balkendiagramm der vergleichenden Evaluierung zeigt mit jedem Balken die durchschnittliche Entscheidung für die cues-consistent Versuche, bzw. gegen die cues-inconsistent Versuche²⁰. Die gestrichelte Linie kennzeichnet das Maß, bis zu dem sich beide Arten von Bildern in ihrer Intensität, gleich schwer auf die Probanden auswirkten. Alles was darüber liegt beschreibt das Maß, in dem die entkoppelten Sehvorgänge (cues-inconsistent) anstrengender und irritierender für die Augen empfunden wurden. Im Umkehrschluss lässt sich an den Balken ablesen, wie gering die Präferenz für sie ausfiel²¹.

Die Ergebnisse aus beiden Evaluierungen zeigen stichhaltig, dass der Akkomodation-Vergenz-Konflikt das Hirn überfordert. Bestätigend kommt hinzu, dass zwei Probanden an den Sitzungen für die zweite vergleichende Evaluierung, nicht mehr teilnehmen wollten. Gleichzeitig traten bei ihnen im ersten Durchlauf alle Symptome am schwersten auf.²²

20 Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 20

21 Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 19

22 Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 19

4 Der Sehkomfort und die Raumwahrnehmung

Aus den vorangegangenen Kapiteln wird klar, wie der Akkomodation-Vergenz-Konflikt Zustände kommt und wie er sich auf den Rezipienten auswirkt. Außerdem sollte man sich im Klaren sein, dass sich der Konflikt nicht aufheben lässt. Er ist unmittelbar auf die Wiedergabe eines stereoskopischen 3D Filmes über eine zweidimensionale Leinwand zurückzuführen. Des Weiteren wurde durch Martin S. Banks und Co. deutlich, dass sich der Konflikt in unterschiedlicher Intensität auf die Probanden auswirkte. Dies hängt mit den physiologischen Faktoren unseres Sehapparates zusammen (vgl. Kap. 2.1.4). So ist das Hirn, dank seiner Stereoneuronen, in vielen Fällen zwar in der Lage ein räumliches Bild zu fusionieren, die Stereopsis eines jeden Menschen bleibt allerdings genetisch bedingt individuell, in Abhängigkeit von seinen motorischen Veranlagungen.

Die gerade beschriebenen Faktoren sind es, welche in der Leitthese die Grenze der 3D Bildgestaltung ausmachen. In diesem Kapitel geht es nun darum zu zeigen inwiefern sie den Filmemacher bzw. den Stereographen in der Planung eines stereoskopischen 3D Filmes einschränken oder ob sie lediglich eine Hürde darstellen die gemeistert werden muss. Zielführend bei dieser Untersuchung, werden im Folgenden Fakten und Maßnahmen beschrieben, die den Umgang mit dem Akkomodation-Vergenz-Konflikt vereinfachen und Ermüdungserscheinungen vorbeugen sollen. Sie ergeben sich sowohl aus dem Wissen vorangegangener Kapitel, als auch aus Erfahrungswerten praktizierender Stereographen.

Des Weiteren wird näher auf die Raumwahrnehmung einer stereoskopischen Kinoprojektion eingegangen. Da sich der stereoskopische Film durch seine räumliche Wahrnehmung gegenüber zweidimensionaler Filme abhebt, ist sie genauso sorgfältig wie der Sehkomfort zu behandeln.

4.1 Die Komfort-Zone

Wie bereits erläutert sind für die räumliche Fusion unsere Stereoneuronen verantwortlich. Deren Wirkungsbereich beschränkt sich auf den Panumraum. Die Parameter der stereoskopischen Kinobilder müssen also nach dem Panumraum ausgerichtet sein. Bilder deren Fixationen die Vergenz, darüber hinaus von der Akkomodation entkoppeln, verhindern die Fusionierung, wodurch die Stereopsis zusammenbrechen würde.²³

Akkommodation-Vergenz-Reize die, ob ge- oder entkoppelt, problemlos fusioniert werden können, liegen in der zone of clear single binocular vision (ZCSBV). Mit anderen Worten beschreibt sie zu jedem Grad der Akkomodation (siehe Abb. 15: Betrachtungsabstand) sowohl die maximale, als auch die minimale fusionierbare Vergenz (d.h. den maximalen Konvergenzwinkel und den maximalen Divergenzwinkel).²⁴ Die ZCSBV beschreibt aber lediglich welche Reize, über das reale Sehen (Abb. 15: Kreise) hinaus, von unserem Hirn umsetzbar wären. Sie vermag also zu beschreiben welche Tiefen nicht mehr darstellbar sind (Abb. 15: Quadrate außerhalb der ZCSBV), lässt jedoch außer Acht welche Reize mehr und welche weniger anstrengen.

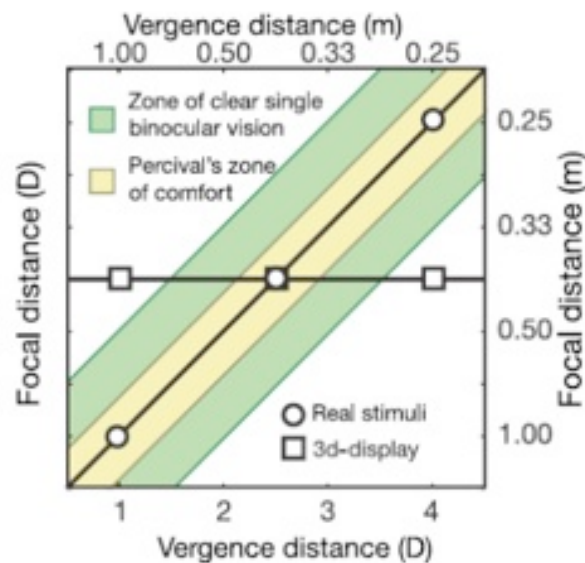


Abbildung 15: Abszisse oben und unten: Vergenzentfernung in Dioptrin und Metern, Ordinate links und rechts: Betrachtungsabstand in Dioptrin und Metern, Quadrate: 3D Fixationen, Kreise: reale Fixationen (Hoffman u.a., 2008: S.4)

²³ Vgl. Hoffman u.a., 2008: S. 3

²⁴ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 5

Die ersten Versuche der Optometrie, innerhalb der ZCSBV, den Bereich zu finden in dem sich auf Dauer visuelle Beschwerden vermeiden lassen, unternahm Percival 1892. Seine klinischen Erfahrungen ließen ihn annehmen, dass sich dieser Bereich etwa im mittleren Drittel (Abb. 15: gelb), um die gekoppelten Reize herum befindet.²⁵

Ein Forschungsteam um Martin S. Banks von der University of California, hat diese frühen Untersuchungen zu Komfortzonen bei Akkomodation-Vergenz-Reizen wieder aufgenommen. Diese Experimente haben ergeben, dass es falsch ist die ZCSBV pauschal in einen komfortablen (und damit beschwerdefrei sehbaren) und einen unkomfortablen (auf Dauer Beschwerden verursachenden) Bereich einzuteilen. Zwar sind Reize die außerhalb einer Komfortzone im mittleren Drittel liegen, schwerer zu fusionieren (die Vergenz ist durch eine längere Distanz von der Akkomodation entkoppelt) als Reize innerhalb der Zone, doch spätestens bei Annäherungen an die maximal zulässige Konvergenz, bzw. Divergenz der Zone wird deutlich, dass mit dem Komfort viel mehr eine Tiefenkontinuität einher geht.²⁶

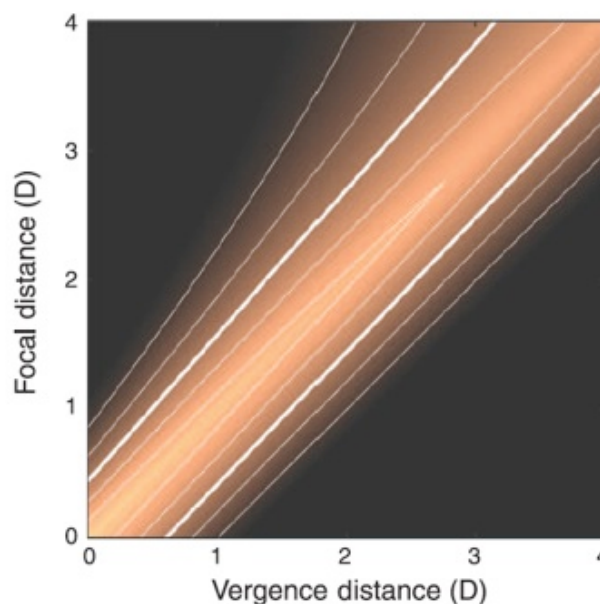


Abbildung 16: Ordinate: Betrachtungsabstand in Dioptrin,
Abszisse: Vergenzentfernung in Dioptrin, Kontinuierliche
Komfortzone: orange (Shibata u.a., 2011: S.26)

²⁵ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 3

²⁶ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 26

Mit diesem Grundverständnis erstellte Banks Team eine kontinuierliche Komfortzone (siehe Abb. 16). Sie unterteilt sich in Bereiche gekoppelter realer Reize, in hellem Orange, über unterschiedliche Abstufung der Transparenz, in Bereiche entkoppelter Reize, bis hin zu einem Schwarz, dass die Zone umfasst.²⁷ Die Abstufungen von orange nach schwarz visualisieren den Grad der Anstrengung, von einer guten Verträglichkeit des visuellen Reizes, bis hin zum Zusammenbruch der Stereopsis.

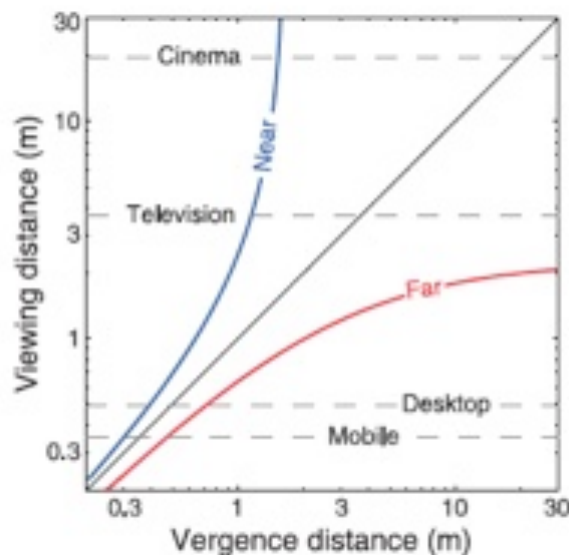


Abbildung 17: Ordinate: Vergenzentfernung in m; Abszisse: Betrachtungsabstand in m; blau und rot begrenzen die Komfortzone, Near: für negative Parallaxe, Far: für positive Parallaxe; schwarz: natürliches Sehen (Shibata u.a., 2011: S.23)

Eine weitere Grafik zeigt auf, in welchem Rahmen sich die visuellen Reize befinden, die über eine Kinoleinwand präsentiert werden. Die gestrichelte horizontale Linie mit der Beschriftung „Cinema“ zeigt, dass die positiven Parallaxen bis hin zu einer unendlichen Tiefe, innerhalb der Komfortzone liegen (siehe Abb. 17). Problematisch sind lediglich die negativen Parallaxen. Somit scheint die stereoskopische Bildplanung nur in eine Richtung eingeschränkt zu sein. Ordnet man das Stereobudget, d.h. die Gesamtheit aller Parallaxen, eher positiv an und somit hinter dem Scheinfenster, wird der Film dadurch schon tendenziell komfortabler zu schauen sein.

²⁷ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 26

4.1.1 Die Bedeutung relativer Parallaxen

Die relative Parallaxe ist das Pendant zur Querdisparität unserer Netzhautbilder. So wie sich die Querdisparität aus den unterschiedlichen Winkelpositionen der Augen zu einer Szenerie ergibt, kommt die relative Parallaxe durch die unterschiedlichen Winkelpositionen beider Kameraoptiken zustande. Die Querdisparität besteht zwischen disparaten Bildpunkten auf den Netzhäuten, die relative Parallaxe besteht zwischen einer absoluten negativen Parallaxe und einer absoluten positiven Parallaxe²⁸. So wie sich die Querdisparität bei unterschiedlichen Fixationen innerhalb einer Szenerie ändert, ändert sich auch die relative Parallaxe mit jeder Fixation die innerhalb eines stereoskopischen 3D Bildes gemacht wird. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die Fusionierung zu einem zyklischen Bild in zwei Prozesse gliedert. Unser Hirn hat aus seiner Sehgewohnheit heraus gelernt, diese ebenfalls miteinander zu koppeln. Es handelt sich dabei um eine lokale und eine globale Fusion.²⁹

Die lokale Fusion bezeichnet die Verrechnung zweier disparater Punkte, also die Fusion eines einzelnen Bildpunktes. Nur wenn dies erfolgreich ist, greift die globale Fusion und damit die Verrechnung der Querdisparität zwischen beiden Netzhautbildern³⁰. So erklärt sich auch, weswegen unser räumlicher Gesamteindruck nicht zusammenbricht, selbst wenn wir nur einen einzelnen Punkt fixieren.

Überträgt man diesen Sachverhalt nun auf absolute und relative Parallaxen, hängt die Fusion eines Punktes immer von einer absoluten Parallaxe ab. Diese absolute Parallaxe macht den lokalen Faktor der Fusion aus. Diese Fusion steht allerdings immer in einem relativen Verhältnis zu Parallaxen vorder- oder hintergründiger Punkte des räumlichen Bildes. Diese relativen Parallaxen machen den globalen Faktor aus.

Somit wird deutlich, dass sich ein Stereograph die relativen Parallaxen eines Bildes zu nutze machen muss, um den Sehkomfort aufrecht zu erhalten. Vgl. mit Abb. 17 könnte man etwa für jedes einzelne Bild einer Einstellung, eine Grafik mit der entsprechenden absoluten Parallaxe erstellen und prüfen ob die dazugehörigen relativen Parallaxen innerhalb der Komfortzone liegen. Um letztendlich eine Aussage über die Verortung der, zu den inszenatorisch wichtigen Fixationen zugehörigen absoluten Parallaxe machen zu können, bedarf es wiederum einer professionellen Antizipation. So muss die Aufmerksamkeit des Rezipienten, noch vor der Wiedergabe, berücksichtigt werden.

28 Vgl. Siragusano, 2010: S.6

29 Vgl. Julesz, 2006: S.200

30 Vgl. Julesz, 2006: S.150

4.2 Die Festlegung der Leinwandgröße

Der Stereograph muss sich für die Planung eines stereoskopischen 3D Filmes zuerst immer auf eine Leinwandgröße festlegen, anhand derer er seine Kalkulationen ausrichtet. Um sich dies verständlich zu machen muss man sich Folgendes vor Augen halten:

Sind zwei stereoskopische Bilder erst einmal aufgezeichnet, liegen beide in einem festen Format vor. Projiziert man diese Bilder nun auf eine Kinoleinwand, vergrößert sich das Format der Bilder von Chipgröße, auf Leinwandgröße. Bei diesem Schritt vergrößern sich alle absoluten Parallaxen proportional zur Vergrößerung der Bildbreite³¹.

Gibt man das stereoskopische Bild nun über eine Leinwand wieder, die größer als geplant ist, kann es schnell dazu führen, dass die Augen zu einer Bewegung motiviert werden, die über den maximalen Divergenzwinkel (siehe Abb. 2: links) hinausgeht³². In diesem Zustand kann das Hirn die beiden Netzhautbilder nicht mehr verrechnen, die Stereopsis des Rezipienten würde zusammenbrechen. Die visuellen Reize liegen außerhalb der ZCSBV (siehe Kap. 3.2.1). Diese Reize werden von maximalen absoluten positiven Parallaxen bewirkt, deren proportionale Vergrößerung den Rahmen der stereographischen Gesamtkalkulation sprengt.

Im umgekehrten Falle, d.h. bei der Auswahl eines kleineren Wiedergabemediums als geplant, verkleinern sich die Parallaxen proportional zur Leinwandgröße. Dies ist zwar kein Faktor der den Sehkomfort einschränkt (sondern sogar die Vergenzzentfernung weiter an den Betrachtungsabstand angleicht), doch geht mit der Verkleinerung von Parallaxen die Tiefenwirkung zunehmend verloren³³. Bis hin zu einem Grad an dem sich das dreidimensionale Erlebnis ähnlich absurd darstellt, wie durch eine 2D Brille (siehe Einleitung).

Mit dem Wissen über die Komfortzone lässt sich nun feststellen, dass wir über eine Kinoleinwand zwar unendlich weit gucken können, jedoch nur solange der maximale Divergenzwinkel nicht überschritten wird, d.h. die maximal eingeplante Leinwandgröße nicht vergrößert wird. Gleichzeitig kann man anhand von Abb. 17 nun die Aussage treffen, dass die enorme Tiefe eines Kinobildes, übertragen auf einen Fernseher deutlich unkomfortabler einzuordnen wäre. Schaut man einen stereoskopischen 3D Kinofilm über seine Heimkinoanlage verkleinert sich diese jedoch automatisch, über den Größenunterschied zwischen Fernseher und Kinoleinwand.

³¹ Vgl. Siragusano, 2010: S.3

³² Vgl. Siragusano, 2010: ebd.

³³ Vgl. Siragusano, 2010: ebd.

Mit anderen Worten bleibt die relative Parallaxe eines jeden Stereobildes zunächst immer gleich. In Bezug auf das Format verhält sie sich wie alle absoluten Parallaxen, proportional zur Leinwandgröße. In einem Kinosaal ergibt sich in Bezug auf die relative Parallaxe jedoch eine Hürde, die der Stereograph einplanen muss. Denn die Architektur des Saales gibt vor, dass die Zuschauer in unterschiedlichen Betrachtungsabständen zur Leinwand Platznehmen. Dadurch tritt eine Problematik auf, die im nächsten Unterkapitel erklärt wird.

4.3 Optimale und nachteilige Betrachtungsabstände

Ist die Leinwandgröße festgelegt, lassen sich anhand ihrer Breite und ihrer horizontalen Auflösung in Pixel, unterschiedliche Betrachtungsabstände definieren. Dies ist notwendig, weil alle Zuschauer im Kinosaal unterschiedliche Betrachtungsabstände zur Leinwand einnehmen werden. Die Positionen lassen sich in drei Kategorien einteilen, deren Entfernung zur Leinwand durch folgende Formeln berechnet wird:

<p>1. Sweet-spot³⁴: Definiert den optimalen Betrachtungsabstand. (siehe Abb. 18)</p> <p>(resolution: horizontale Auflösung in 2048 Pixel; scr width: Breite der Leinwand)</p> <p>CPP sweet-spot: ist von der CinePostproduction entwickelt und orientiert sich an einer horizontalen Auflösung von 2600 Pixel. Es zeigt sich, dass eine erhöhte Auflösung einem größeren Teil des Publikums den sweet-spot ermöglichen würde. (siehe Abb. 18)</p>	$\text{sweet-spot} = \frac{1}{\left(\tan \left(\frac{\frac{\text{resolution}}{60}}{2} \right) \right) \left(\frac{2}{\text{scr width}} \right)}$
<p>2. Bad-spot³⁵: Definiert den Betrachtungsabstand mit um 50% verschlechterter Auflösung. (siehe Abb. 18)</p> <p>(resolution: horizontale Auflösung in 2048 Pixel; scr width: Breite der Leinwand)</p>	$\text{bad-spot} = \frac{1}{\left(\tan \left(\frac{\frac{\text{resolution}}{30}}{2} \right) \right) \left(\frac{2}{\text{scr width}} \right)}$
<p>3. First row³⁶: Definiert den Betrachtungsabstand der 1. Reihe, hier am Beispiel von cinema-scope. (siehe Abb. 18)</p> <p>(scr width: Breite der Leinwand)</p>	$\text{first row} = 0.8 \cdot \left(\frac{\text{scr width}}{2.39} \right)$

³⁴ Siragusano, 2010: S.3

³⁵ Siragusano, 2010: ebd.

³⁶ Siragusano, 2010: ebd.

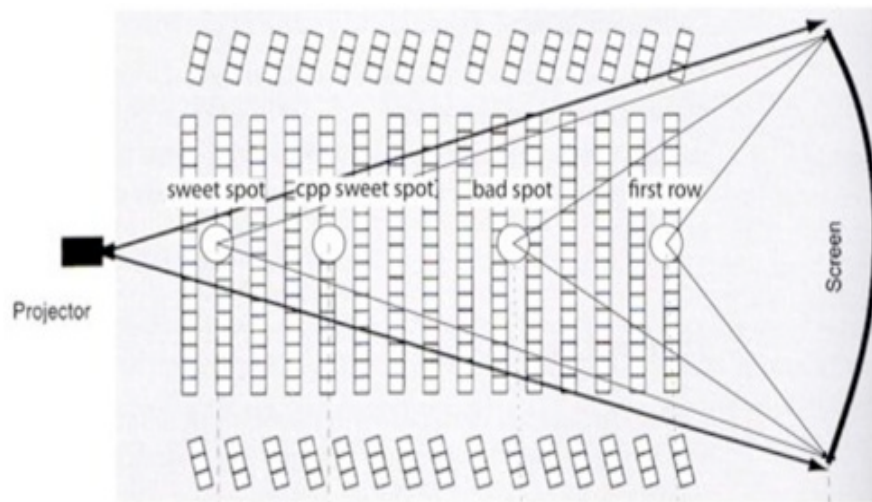


Abbildung 18: Schematische Übersicht der Betrachtungsabstände von sweet-spot, bad-spot und first row, in einem Kinosaal (Siragusano, 2010: S.4)

4.3.1 Querdisparität vs. relative Parallaxen

Ab dem Moment ihrer Aufzeichnung über einen Bildsensor, liegt digitalen Bildern ein Pixelraster zugrunde. Bei der Wiedergabe eines zweidimensionalen Bildes erreicht man den optimalen Betrachtungsabstand, wenn dieses Raster nicht mehr wahrnehmbar ist³⁷. Wird jedoch ein stereoskopisches Bild wiedergegeben, welches sich erst aus der Verrechnung einzelner absoluter Parallaxe ergibt, wird die partielle Pixeldichte dieser Parallaxe, für die Auflösung des räumlichen Eindrucks entscheidend.

Bei der Betrachtung der Kinoleinwand trifft nun die Querdisparität des realen Sehens, auf die räumliche Auflösung des stereoskopischen Bildes. Sitzt man weiter vorne eröffnet sich die Fläche der Kinoleinwand dem Betrachter physikalisch größer, als von einem der hinteren Plätze. Da das Bild von der Leinwand reflektiert wird, bleibt die ursprüngliche Pixelgröße daher nur für einen bestimmten Betrachtungsabstand konstant. Denn wie die Leinwand, wird die den Parallaxen zugrundeliegende Pixelstruktur, mit abnehmender Distanz zur Leinwand ebenfalls physikalisch größer wahrgenommen. Die Querdisparität sorgt so dafür, dass sich die relativen Parallaxen des Stereobildes von Sitzplatz zu Sitzplatz unterscheiden.

Die Relative Parallaxe verhält sich zur Querdisparität des Zuschauers, von first row (siehe Abb.18) aus wie 1:3,3. Dies entspricht lediglich noch ca. 30% der eigentlichen räumlichen Auflösung. Bis zum bad-spot gleicht sie sich auf 1:2 weiter an, also bis auf

³⁷ Vgl. Siragusano, 2010: S.3

50%. Erst ab dem sweet-spot besteht ein Verhältnis von 1:1.³⁸ Somit ist die räumliche Auflösung nur ab einem Betrachtungsabstand zur Leinwand optimal.

Je weiter man sich der Leinwand über diesen Betrachtungsabstand hinaus nähert, desto schlechter ist der räumliche Eindruck aufgelöst. Nimmt man ab dem optimalen Betrachtungsabstand, noch größere Entfernungen ein, hat dies hingegen keinen negativen Einfluss auf die räumliche Auflösung.³⁹

Was den Sehkomfort an dieser Stelle anbelangt, müssen die relativen Parallaxen also für mehrere Distanzen auf ihre Verträglichkeit hin geprüft werden. Da es zudem nur einen sweet-spot in einem Kinosaal geben kann, ist der Stereograph zusätzlich mit der Frage konfrontiert, auf welcher Entfernung zur Leinwand er ihn ansiedeln möchte. Zwar hängt der Betrachtungsabstand von der Leinwandgröße ab, doch im Vorwege bleibt immer noch die Auswahl des Bildsensors in den Kameras. Der CCP sweet-spot (siehe Abb. 15, vgl. Tabelle 4.3) zeigt bspw., dass ausgehend von einer größeren horizontalen Auflösung, der optimale Betrachtungsabstand verkürzt wird⁴⁰. Dadurch wird einem größeren Teil des Publikums ein gut aufgelöstes Seherlebnis ermöglicht.

4.4 Das komfortable Stereobudget

Das Stereobudget beschreibt den Umfang aller Parallaxen eines Stereobildes, von der maximalen negativen bis zur maximalen positiven Parallaxe. Es definiert somit den Handlungsraum vor und hinter dem Scheinfenster und bildet den Rahmen für alle relativen Parallaxen die während der einzelnen Fixationen auftreten. Von der Sorgsamkeit in der Planung des Stereobudgets, hängt ab wie gut sich der räumliche Eindruck und der Sehkomfort miteinander zu einem lohnenswerten Seherlebnis ergänzen.

Der Stereograph trägt daher die Verantwortung das Stereobudget einer Einstellung so zu gestalten, dass Vergenzwinkeländerungen, entkoppelt von der Akkomodation auf die Leinwand, einerseits nicht übermäßig anstrengen und andererseits genügend Handlungsraum in Vordergrund und Hintergrund des Bildes erhalten bleibt. Fixationen innerhalb eines Bildes sollten generell eine Vergenzwinkeländerung von 4° zwischen einer minimalen absoluten Parallaxe, hin zu einer maximalen absoluten Parallaxe nicht überschreiten. Dieser Wert kann von der individuellen interokularen Parallaxe eines jeden Betrachters variieren. Um den Akkomodation-Vergenz-Konflikt möglichst klein zu

38 Siragusano, 2010: S.12

39 Vgl. Siragusano, 2010: ebd.

40 Vgl. Siragusano, 2010: S.4

halten empfiehlt es sich daher, durchschnittlich einen Rahmen von 2° maximaler Vergenzwinkeländerung einzuhalten. Manche Stereographen richten sich sogar nach einem 1° aus⁴¹.

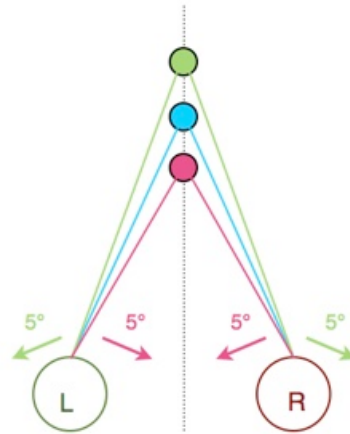


Abbildung 19: L, R: Auge links, rechts;
blau: Ausgangsfixation und Fixationslinien;
grün: Konvergenzwinkeländerung um 5° ; pink: Divergenzwinkeländerung um 5°

Gemessen am Beispiel in Abb. 19 klingt das zunächst nach einem sehr geringen Handlungsrahmen. Doch es gibt auch an dieser Stelle wieder einen Weg, sich diesen Handlungsrahmen zu erweitern, ohne den Akkomodation-Vergenz-Konflikt über die komfortable Grenze hinaus zu erzeugen.

Der Stereograph kann sich die vom Hirn gekoppelten Prozesse der lokalen und globalen Fusion zu nutze machen (siehe Kap. 4.1.1). Wie bereits beschrieben, ist die lokale Fusion lediglich an eine absolute Parallaxe gebunden, um einen Bildpunkt zu fusionieren. Da die globale Fusion des restlichen Bildes daran gekoppelt ist, wird die Fusion der übrigen räumlichen Auflösung zeitlich und von der Komplexität des Gesamtbildes unabhängig. Dieser Umstand bekräftigt erneut, dass für die Problematik des Akkomodation-Vergenzkonflikts einzig und allein die relativen Parallaxen von Bedeutung sind. Wie ebenfalls beschrieben wird, existieren diese nur zwischen einer negativen absoluten Parallaxe und einer positiven absoluten Parallaxe. Vergenzwinkeländerungen zwischen zwei Bildpunkten finden also stets über die relative Parallaxe zwischen diesen Punkten statt. Wenn sich der inszenatorische Handlungsrahmen und dessen absolute Parallaxen innerhalb des Bildes, am Set genau abstecken lassen (siehe Kap. 5.2), können die maximalen absoluten Parallaxen im Bildvorder- oder -hintergrund gegebenenfalls angehoben werden.

41 Vgl. Siragusano, 2010: S.5

Es besteht jedoch ein Risiko des Zusammenbrechens der Stereopsis, sofern die Aufmerksamkeit des Rezipienten falsch eingeschätzt wurde. Dies kann bspw. auftreten wenn der Blick auf eine absolute Parallaxe trifft, die den maximalen Divergenzwinkel überschreitet (vgl. Kap. 4.2). In Bezug auf den Sehkombfort besteht zudem das Risiko, dass die inszenatorisch relevanten relativen Parallaxe durchschnittlich zu groß angelegt sind, da sie die räumliche Auflösung eines Stereobildes ausmachen. So kann bei einem unbedachten Umgang der durchschnittliche Sehkombfort zum Opfer imposanter Bilder werden. Hinzu kommt, dass der Stereograph nicht nur dem inszenatorischen Handlungsrahmen und der räumlichen Wirkung gerecht werden muss. In Anbetracht der Sitzverteilung im Kino sollte er auch gleichzeitig einkalkulieren, wie sich die Planung des Stereobudgets auf die unterschiedlichen Betrachtungsabstände auswirken wird. Das 1:2 – 1:3.3 Verhältnis der Querdisparität des Zuschauers zu der relativen Parallaxen des Bildes, macht das vordere Drittel des Saals zu einer Problemzone, die berücksichtigt werden muss⁴².

4.5 Die Stereoskopische Raumwahrnehmung

Um sich einen besseren Eindruck von einer angemessenen Stereobudgetplanung machen zu können, ist es hilfreich sich vor Augen zu halten, aus welchen Parametern sich die stereoskopische Raumwahrnehmung ergibt und über welche technischen Maßnahmen sie manipulierbar ist. Zeichnet man eine Szenerie stereoskopisch auf sollte man wissen, welchen Einfluss die Entfernung der Kameras, bei welcher Optik, mit welchem interachsialen Abstand zueinander, auf die Plastizität der aufgezeichneten räumlichen Auflösung hat⁴³. Zu diesem Zweck hat die CinePostproduction GmbH ein theoretisches Modell entwickelt, welches sich sowohl auf das menschliche Sehen, als auch auf die Aufzeichnung durch Kameraoptiken übertragen lässt.

4.5.1 Das Objektvolumen und die Bewegung durch den Raum

Hierzu stelle man sich einen Würfel mit 1m in Höhe, Breite und Tiefe vor. Dieser befindet sich frontal auf der Fixierlinie des Linken Auges und bewegt sich gen Unendlichkeit von ihm weg⁴⁴. Während sich im linken Auge nur die eine, dem Auge zugewandte Seite dieses Würfels auf der Netzhaut abbildet, fängt das rechte Auge die Relationen von

42 Vgl. Siragusano, 2010: S.12

43 Vgl. Siragusano, 2011: S.1

44 Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

Höhe, Breite und Tiefe ein. Durch diesen Aufbau ergeben sich alle disparaten Netzhautpunkte des rechten Auges, zu einer konstanten Breite im linken Auge.⁴⁵

Somit lässt sich auch die Relation der Querdisparität, gemessen an der Bewegung des Würfels durch den Raum, am rechten Auge festmachen (siehe Abb. 20).

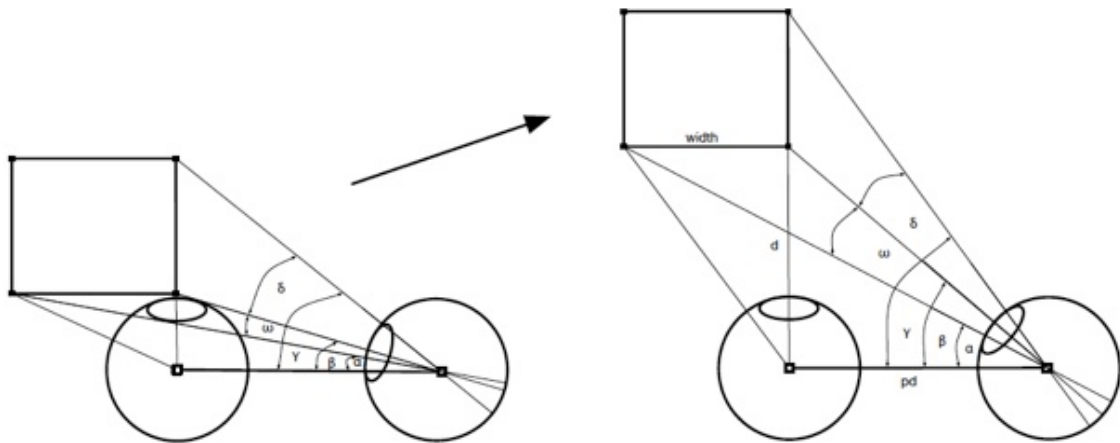


Abbildung 20: links: Positionierung des Würfels vor den Augen; rechts: Bewegungsrichtung des Würfels Richtung Unendlichkeit; d: Fixationslinie des linken Auges und zunehmende Entfernung der Augen zum Würfel; pd: Augenabstand 65mm; width: Seitenmaß des Würfels (Siragusano, 2011: S.2)

Die Querdisparität misst sich anhand der Größe von $\triangleright \delta$ (siehe Abb. 20). Um die Veränderungen des Volumens während der Bewegung des Würfels in die Tiefe zu beschreiben, setzt man sie mit $\triangleright \omega$ (siehe Abb. 20) in Beziehung, welcher die Veränderung der Breite auf der Netzhaut beschreibt.⁴⁶ Anhand folgender Formeln lässt sich schließlich ein Graph (siehe Abb. 21) erstellen, welcher das wahrgenommene Volumen δ/ω in Relation zur momentanen Entfernung d (siehe Abb. 20) darstellt.

α (Entfernung des Würfels, d; Breite des Würfels, width; interokularer Abstand, pd) ⁴⁷	$\deg(\arctan(\frac{d}{width+pd}))$
β (Entfernung des Würfels, d; interokularer Abstand, pd) ⁴⁸	$\deg(\arctan(\frac{d}{pd}))$
γ (Entfernung des Würfels, d; Breite des Würfels, width; interokularer Abstand, pd) ⁴⁹	$\deg(\arctan(\frac{d+width}{pd}))$
ω ⁵⁰	$\beta - \alpha$

45 Vgl. Siragusano, 2011: S.1

46 Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

47 Siragusano, 2011: ebd.

48 Siragusano, 2011: ebd.

49 Siragusano, 2011: ebd.

50 Siragusano, 2011: ebd.

δ^{51}	$\gamma - \beta$
y^{52}	γ / ω

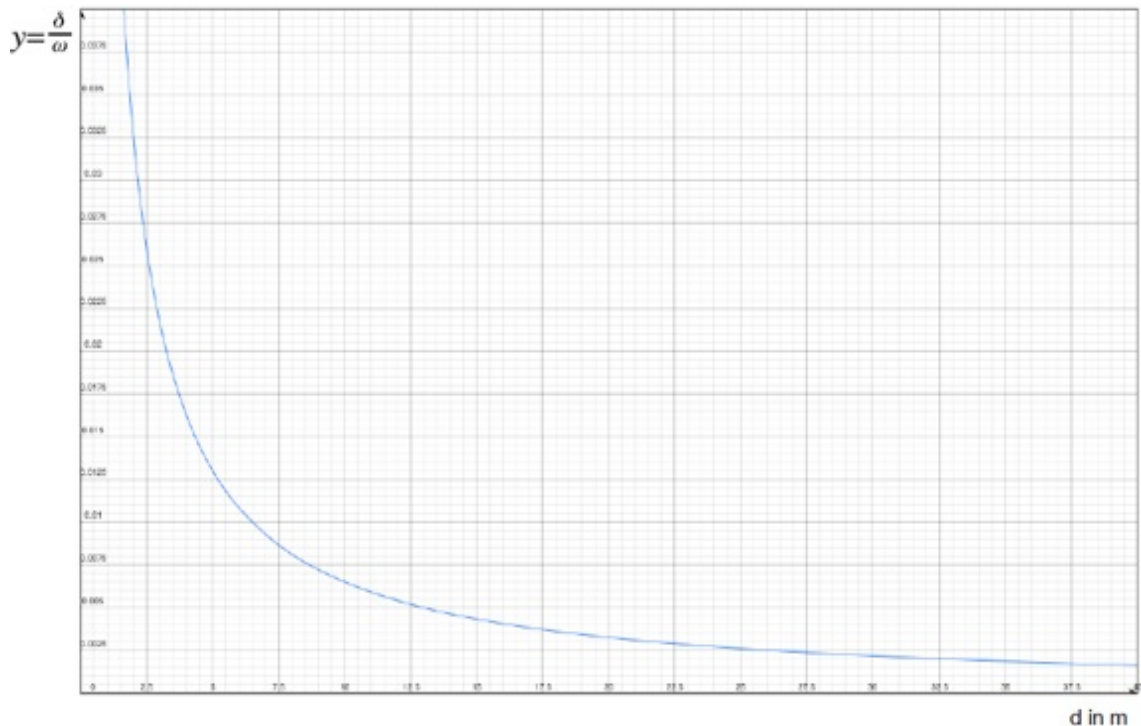


Abbildung 21: Ordinate: y ; Abszisse: d in Meter (Siragusano, 2011: S.2)

Am Graphen lässt sich ablesen, dass sich das wahrgenommene Volumen weder konstant noch linear zum Betrachtungsabstand verhält⁵³. Es nimmt schon ab den ersten Metern Entfernung enorm ab. Das Verhältnis des wahrgenommenen Volumens zum Betrachtungsabstand ist also reziprok.⁵⁴

Unsere Sehgewohnheit steuert in realen Szenerien gegen dieses Verhältnis an. Unser Tiefeneindruck erhält sich bei bekannten Gegenständen länger aufrecht, als bei unbekannten. Gleiches lässt sich bei einer umgekehrten Bewegung des Objekts, zu dem Verhältnis seiner wahrgenommenen Größe sagen: Während sich die die eigentliche Größe auf der Retina vergrößert, wird sie über einen längeren Zeitraum der Bewegung konstant wahrgenommen. Eine entscheidende Aussage, die der Stereograph über den Graphen machen kann ist, dass Objekte und Personen im Stereobild dieser Kurve folgen müssen, um einer natürlichen Größen und Volumen Veränderung zu entsprechen.⁵⁵

⁵¹ Siragusano, 2011: S.1

⁵² Siragusano, 2011: ebd.

⁵³ Siragusano, 2011: S.2

⁵⁴ Siragusano, 2011: ebd.

⁵⁵ Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

4.5.2 Das ortho-stereoskopische Bild

Der gleiche Aufbau lässt sich auch auf das stereoskopische Bild übertragen. Man ersetzt die Augen in dem Modell durch zwei Kameras und passt deren interachsialen Abstand, an den interokularen Abstand an. Beide Kameras haben einen Bildsensor mit 24 mm Breite und einer horizontalen Auflösung von 2048 Pixel. Auf diesen werden die Dimensionen jeweils durch eine Optik mit 29mm Brennweite aufgezeichnet. Das daraus resultierende Bild nennt man ortho-stereoskopisches Bild.⁵⁶

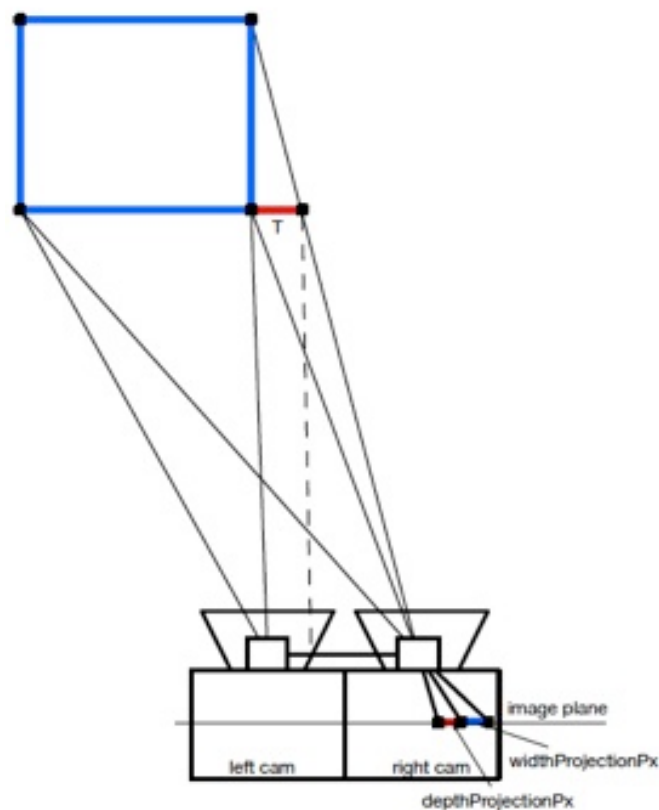


Abbildung 22: Ortho-stereoskopisches Kamerasetting, image plane (dt. Bildsensor): rot, variierende Tiefe; blau, variierende Breite (Siragusano, 2011: S.3)

Die linke Kamera bildet lediglich die eine, ihr zugewandte Seite des Würfels ab, während der rechte Bildsensor die Relation der Breite zur Tiefe aufzeichnet (siehe Abb. 22, image plane: rot und blau). Die relativen Parallaxen auf der Leinwand resultieren also nur aus den absoluten Parallaxen der rechten Kamera.⁵⁷

⁵⁶ Vgl. Siragusano, 2011: S.3

⁵⁷ Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

Auf die Kinosituation übertragen ergibt sich daraus ein Sichtfeld, dass dem sweet-spot entspricht⁵⁸. Durch die Anpassung des interachsialen Abstands der Kameras, an den interokularen Abstand, entspricht es außerdem der verwendeten Brennweite von 29mm. Das ortho-stereoskopische Kamerasetting reproduziert somit 1:1 die natürliche Tiefe einer Szenerie. Angesichts der Problemzone zwischen first row und bad-spot im Kinosaal ist es jedoch ungünstig, da maximale Divergenzwinkel dort schnell überschritten werden können⁵⁹. Daher beschäftigt sich dieses Modell im Weiteren mit der Manipulierbarkeit des Stereobildes durch wechselnde Brennweiten, unterschiedliche Distanzen der Kameras zum Objekt und Änderungen ihres interachsialen Abstands. Zu diesem Zweck gilt es auch wieder einen Graphen zu entwickeln, an dem sich das Verhältnis der Breite zur Tiefe mit zunehmender Entfernung des Würfels ablesen lässt. Seine Herleitung entstammt folgenden Formeln.

Reale Tiefe des Würfels, T (interachsialer Abstand, IA; Kameraabstand, d; Breite des Würfels, width) ⁶⁰	$IA - \frac{d \cdot IA}{width + d}$
Dimension der Breite in Pixel (Kameraabstand, d; Breite des Würfels, width; Breite des Bildsensors, sensorWidth; horizontale Auflösung des Sensors in Pixel, hSensorPx) ⁶¹	$f \cdot \frac{\frac{width}{d}}{sensorWidth} \cdot hSensorPx$
Dimension der Tiefe in Pixel (Kameraabstand, d; reale Tiefe des Würfels, T; Breite des Bildsensors, sensorWidth; horizontale Auflösung des Sensors in Pixel, hSensorPx) ⁶²	$f \cdot \frac{\frac{T}{d}}{sensorWidth} \cdot hSensorPx$
Verhältnis der Breite zur Tiefe, y (Dimension der Breite in Pixel, widthProjectionPx; Dimension der Tiefe in Pixel, depthProjectionPx) ⁶³	$\frac{depthProjectionPx \cdot 1.5}{widthProjectionPx \cdot 1.5}$

Der Graph gleicht in seiner Form, entsprechend der angepassten Parameter an das natürliche Sehen, dem Graphen aus Kap. 4.5.1 (siehe Abb. 23: dunkelblau).

58 Vgl. Siragusano, 2011: S.3

59 Vgl. Siragusano, 2011: S.4

60 Siragusano, 2011: S.3

61 Siragusano, 2011: ebd.

62 Siragusano, 2011: ebd.

63 Siragusano, 2011: ebd.

4.5.3 Die Veränderung des interachsialen Abstandes

Vergrößert man den interachsialen Abstand der Kameras, vergrößert sich das Verhältnis von Breite und Tiefe des Würfels. Damit ist die Größe des wahrgenommenen Volumens proportional zum interachsialen Abstand.⁶⁴ Anhand der Steilheit des Graphen (siehe Abb. 23) lässt sich ablesen, dass das wahrgenommene Volumen des Würfels nicht nur größer ist, sondern auch über eine längere Distanz erhalten bleibt, wenn sich der interachsiale Abstand vergrößert. Man beachte außerdem, dass diese Vergrößerung auch das Stereobudget vergrößert, da sich alle absoluten Parallaxen vergrößern.

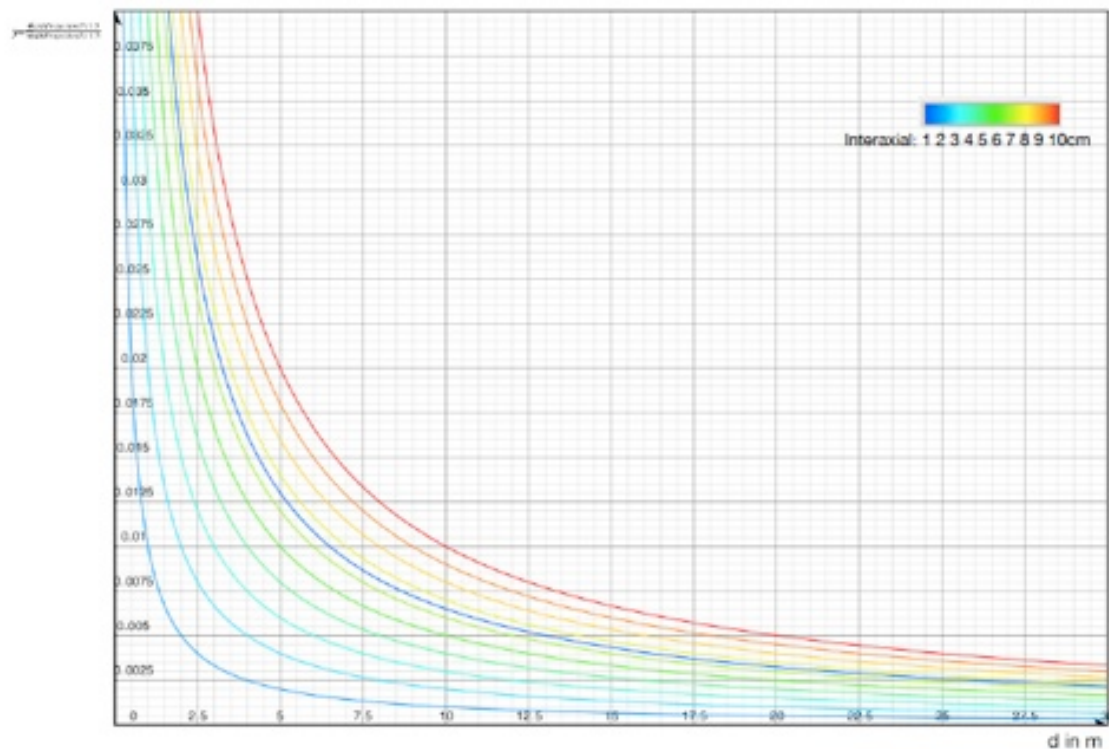


Abbildung 23: Ordinate: y , vgl. Kap. 4.5.2; Abszisse: Kameraanstand, d in Metern; Farbspektrum blau - rot: interachsiale Abstände von 0,65-10 cm; dunkelblau: ortho-stereoskoipisches Bild (Siragusano, 2011: S.4)

⁶⁴ Vgl. Siragusano, 2011: S.4

4.5.4 Die Veränderung der Brennweite

Wenn das Sichtfeld im Kino dem Kamerawinkel am Set entspricht, erhält der Zuschauer das natürliche Bild. Der Kamerawinkel ist durch die Brennweite der verwendeten Optik bestimmt. Das Sichtfeld des Zuschauers ist jedoch abhängig von der Platzwahl im Kinosaal.⁶⁵ Um ein angemessenes Stereobudget definieren zu können, welches sowohl dem inszenierten Objekt des Interesses, als auch der gesamten Szenerie gerecht wird und dies für unterschiedliche Sichtfelder mit entsprechendem Sehkomfort, ist es wichtig zu klären, wie sich die Wahl der Brennweite auf die Raumwahrnehmung und das Stereobudget auswirkt.

Wenn man ein Bild kadriert, muss man nach einem Wechsel der Brennweite auch die Distanz zum Objekt verändern, um einen annähernd gleichen Bildausschnitt zu erhalten. Ist das Objekt inszenatorischen Interesses also 6 Meter entfernt und man verdoppelt die Brennweite, muss man sich 12 Meter entfernen. Man erhält dann das Objekt in selber Größe, und ist 6 Meter weiter entfernt.⁶⁶ Die Brennweite nimmt also erheblichen Einfluss darauf, welche Distanz der Betrachter durch die Kameraoptik zum Objekt einnimmt.

Die gleiche Auswirkung hat die Entfernung auf das Sichtfeld im Kino. Je weiter man sich der Leinwand von sweet-spot aus nähert, desto größer wird der Winkel des Sichtfeldes, dies verkleinert die genutzte Brennweite zusätzlich, die Objekte der Szenerie werden wie weiter entfernt wahrgenommen. Umgekehrt verkleinert sich das Sichtfeld vom sweet-spot ausgehend, was die Brennweite nachträglich vergrößert, die Objekte werden dadurch näher wahrgenommen.⁶⁷ Die Kompensation der Entfernung durch die Brennweite, nennt man Brennweitenkompensation. Sie lässt sich für jedes Sichtfeld im Kinosaal bestimmen.

Brennweitenkompensation ⁶⁸ (Entfernung zum Objekt inszenatorischen Interesses, $\text{distObjectOfInterest}$; Kamerawinkel, angleOfViewCamera ; Sichtfeld des Betrachters, $\text{angleOfViewObserver}$)	$\text{distObjectOfInterest} - \text{distObjectOfInterest} \left(\frac{\text{angleOfViewCamera}}{\text{angleOfViewObserver}} \right)$
--	--

⁶⁵ Vgl. Siragusano, 2011: S.5

⁶⁶ Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

⁶⁷ Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

⁶⁸ Siragusano, 2011: ebd.

5 Das Stereobudget bestimmen

Bei der Festlegung auf das Objekt inszenatorischen Interesses über die Kameraparameter Brennweite, interachsialer Abstand und die Distanz der Optiken zum Objekt im Raum, gilt es diese auf das Stereobudget und die Zielleinwand (oder Leinwände) abzustimmen. Der angemessene Umgang mit Bildinhalten fügt sich bei der Planung eines Stereobudgets, in eine Vielzahl mathematischer und technischer Variablen ein, für die es keine allerhabene Herangehensweise gibt. Was folgt ist daher eine von zahlreichen Möglichkeiten.⁶⁹

Ein Weg besteht darin, das Stereobudget als relative Parallaxe festzulegen, die zwischen dem am weitesten entfernten Objekt der Szenerie und dem Scheinfenster besteht. Das kann anhand von Pixeln erfolgen oder anhand eines prozentualen Anteils dieser relativen Parallaxe, an der Breite des Kontrollmonitors (siehe Kap. 5.2). Auf diesem Weg definiert sich, wie weit entfernt das Scheinfenster von diesem Objekt liegt. Gleichzeitig legt diese relative Parallaxe fest, welche Brennweiten verwendet werden müssen und welchen interachsialen Abstand die Kameras zueinander aufzuweisen haben.⁷⁰ Über eine Formel lässt sich nun errechnen welche Entfernung die Kameras zum Scheinfenster und damit zur Leinwand einnehmen.

Entfernung zur Leinwand (interachsialer Abstand, IA; Stereobudget in Pixel, DepthBudget; Horizontale Auflösung des Bildsensors in Pixel, Hrsolution; Breite des Bildsensors, sensorWidth) ⁷¹	$IA \left(\frac{f}{\frac{\text{DepthBudget}}{\text{Hrsolution}} \cdot \text{sensorWidth}} \right)$
---	---

So wie der Kamerawinkel mit der Entfernung zur Szenerie einhergeht, geht das Sichtfeld des Betrachters mit der Entfernung zur Leinwand einher. So lässt sich also kontrollieren, für welchen Bereich im Kinosaal man mit welchen Parametern ein 1:1 Verhältnis zwischen relativer Parallaxe und Querdisparität schafft.

⁶⁹ Vgl. Siragusano, 2011: S.5

⁷⁰ Vgl. Siragusano, 2011: S.5

⁷¹ Siragusano, 2011: ebd.

Es gilt nun noch zu klären wie sich die Entfernung der Kamera zur Leinwand manipulieren lässt, um sich im Kompromiss zwischen first row, bad-spot und sweet-spot auf das geeignete Kamerasetting für eine Einstellung festzulegen. Die Manipulation erfolgt über die Brennweite oder den interachsialen Abstand der Kameras.

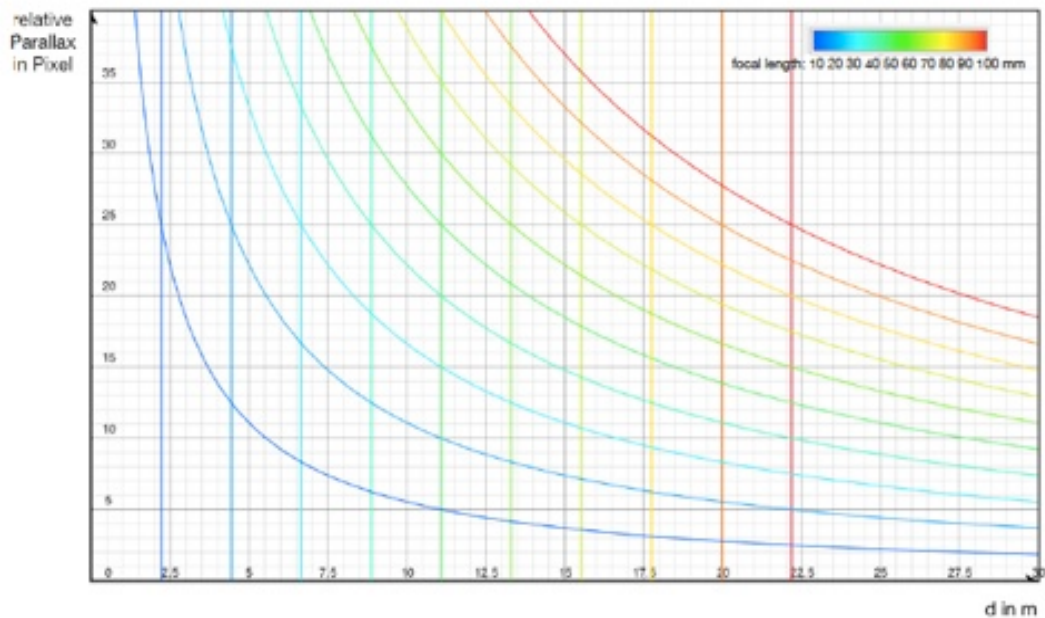


Abbildung 24: Ordinate: relative Parallaxe; Abszisse: Kameraentfernung; Farbspektrum blau - rot: Brennweiten von 10mm – 100mm (Siragusano, 2011: S.6)

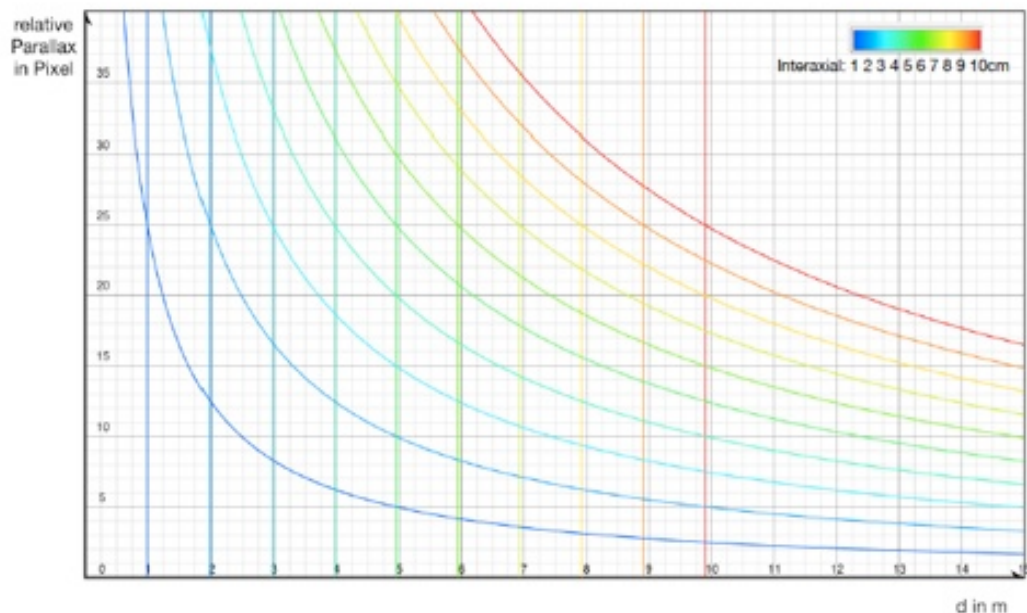


Abbildung 25: Ordinate: relative Parallaxe; Abszisse: Kameraentfernung; Farbspektrum blau - rot: interachsiale Abstände von 1cm – 10cm (Siragusano, 2011: S.6)

Es gibt einen linearen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern und der Entfernung der Kamera zum Scheinfenster. Dies zeigt sich hier an dem Beispiel einer relativen Parallaxe von 25 Pixel. Verdoppelt man einen der Parameter, verdoppelt sich die Entfernung der Kamera zur Leinwand (siehe Abb. 24 und 25).⁷² Um den Kamera-winkel an die Sichtfelder im Kinosaal anzupassen, hat der Stereograph also die Möglichkeit die Plastizität über den interachsialen Abstand zu erhöhen oder zu verkleinern, bzw. den Bildausschnitt mit größeren oder kleineren Brennweiten zu erzeugen.

5.1 Brennweite vs. Raumwahrnehmung

Die Brennweitenkompensation staucht den Raum zwischen der Kamera und den Objekten innerhalb der Kadrage. Dessen muss man sich bewusst sein, wenn man das Kamerasetting in Abstimmung auf die festgelegte relative Parallaxe vornimmt.

Zu diesem Zweck muss man an dieser Stelle wieder jenen Graphen zu Rate ziehen, der das wahrgenommene Volumen anhand der Tiefe darstellt. Anstelle des Kameraabstandes zum Objekt, arbeitet man nun mit der Entfernung die, durch die entsprechende Brennweite, zum Objekt hin kompensiert wird.⁷³

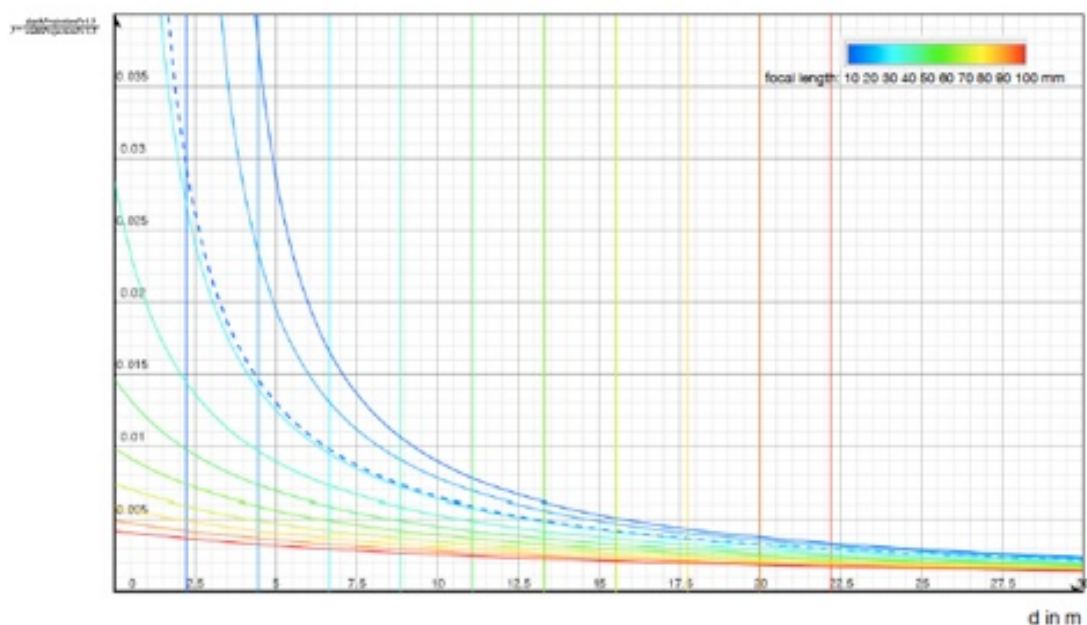


Abbildung 26: Ordinate: Verhältnis der Breite zur Tiefe; Abszisse: Entfernung des Objekts (bzw. Würfels vgl. 4.5.1) zur Kamera; blau gestrichelte Linie: natürliches Verhältnisse bei ortho-stereoskopischem Kamerasetting; Farbspektrum blau - rot: Abweichendes Verhältnis bei Brennweiten von 10mm – 100mm (Siragusano, 2011: S.7)

⁷² Vgl. Siragusano, 2011: S.5

⁷³ Vgl. Siragusano, 2011: S.7

Wenn man nun einen Schauspieler auf 5 Meter Entfernung hätte, bekäme dieser in dem Beispiel von Abb. 26 ein absolutes Volumen von 0,013 (siehe Abb. 26: blaue gestrichelte Linie). Mit einer Brennweite von 50mm (siehe Abb. 26: grüne Kurve) bekommt der selbe Schauspieler ein absolutes Volumen von 0,0069, bei gleichbleibender Kadrierung.⁷⁴ Man bedenke, um den Bildausschnitt beizubehalten muss man sich in dem selben Maße von dem Objekt inszenatorischen Interesses entfernen, in dem man auch die Brennweite erhöht hat. Während das Bild durch die Brennweitenkompensation also weiterhin so aussieht, als wäre der Schauspieler bloß 5 Meter weit entfernt, befindet er sich eigentlich 9,5 Meter weit entfernt. Aus diesem Grund wird sein Volumen nun flacher wahrgenommen als zuvor.⁷⁵

Dieser Umstand tritt vor allem bei monokularen Tiefeneindrücken deutlich in Erscheinung. Die Linearperspektive, der Texturgradient und auch relative Größen sind bspw. stark durch Distanzen beeinflusst (siehe Kap. 2.2.3).⁷⁶ Der Abgleich des Stereobildes sollte möglichst mit der gegebenen Szenerie vor Ort abgestimmt werden. Es sind Eindrücke deren Interpretation, im Zusammenhang mit der Tiefe, unserer Sehgewohnheit entspringen. Man kann also keine umfassenden Aussagen darüber treffen, welchen Einfluss eine bestimmte Brennweite auf den Tiefeneindruck eines Stereobildes hat, bzw. in welchem Maße die räumliche Wahrnehmung eines Bildes durch die Brennweite beeinträchtigt ist.⁷⁷ Es richtet sich immer nach dem momentanen Bildinhalt einer Einstellung. Was sich jedoch feststellen lässt ist, dass größere Brennweiten als die natürliche (von 29mm) ein tendenziell flacheren Raumeindruck erzeugen und kleinere Brennweiten das wahrgenommene Volumen vergrößern.⁷⁸

Da eine Vergrößerung des interachsialen Abstandes der Kamera, eine Erhöhung der relativen Parallaxe des Bildes erzeugt, kann auch diese Maßnahme nicht genutzt werden, um den räumlichen Eindruck zu erhöhen. Bzw. kann diese Maßnahme nur dann ergriffen werden, wenn dies im Rahmen des Sehkomforts und letzten Endes der Fusio-nierbarkeit noch machbar ist. Die Entscheidung über die Platzierung der Kamera im Raum, ist also sorgfältig zwischen Stereograph, Kamera, Regie und Schauspiel abzusprechen. Denn nur wenn im Vorfelde ermessen werden kann, wie viel Platz eine Inszenierung vor der Kamera einnimmt und welche Kadrierung über welche Distanz zur Kamera aufgezeichnet werden soll, können geeignete stereoskopische Parameter festgelegt werden.

74 Siragusano, 2011: S.7

75 Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

76 Vgl. Siragusano, 2011: S.9

77 Vgl. Siragusano, 2011: ebd.

78 Vgl. Siragusano, 2011: S.8

5.2 Die Prozent-Regel

Die Einhaltung der relativen und einzelner absoluter Parallaxen, beobachtet ein Stereograph am Set über einen Kontrollmonitor. Dabei macht er sich die Prozent-Regel zu Nutze. Die Prozent-Regel entstammt den Erfahrungswerten von Filmemachern weltweit und hat sich mit der Zeit etabliert. Sie legt den prozentualen Anteil einer komfortablen Parallaxe an der Gesamtbreite der Leinwand, bzw. des Bildschirmes fest. So dürfen negative Parallaxe maximal 2-3 % der Bildschirmbreite ausmachen und positive Parallaxe maximal 1-2 %. Bei den Prozentangaben ist bereits berücksichtigt, dass alle Zuschauer im Kino unterschiedliche Betrachtungsabstände zur Leinwand haben.⁷⁹ Im Rahmen der Studie über die kontinuierliche Komfortzone, hat Martin S. Banks Team die Prozent-Regel nochmal durchgerechnet und anhand eigener Messwerte modifiziert. Nach ihren Berechnungen dürfen positive Parallaxe sogar 3-4% der Leinwandbreite ausmachen.⁸⁰

Über Markierungen am Kontrollmonitor (bspw. am Rahmen des Displays) oder ein entsprechend an die Displaygröße angepasstes Raster, lässt sich genau beurteilen wann eine Parallaxe zu groß ist, bzw. wann das Stereobudget gegebenenfalls erhöht werden kann. Solch eine Installation beschleunigt das Drehprozedere und vereinfacht die stereoskopische Arbeit in der Produktionsphase.

⁷⁹ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 24

⁸⁰ Vgl. Shibata u.a., 2011: S. 24

6 Die Tiefenkontinuität in Bildgestaltung und Montage

Die Dauer zum Abtasten stereoskopischer Bewegtbilder im Kino, beträgt je nach Komplexität zwischen 130 ms und 260 ms⁸¹. Man bedenke hierbei, dass die Blickführung in einem Kinobild vorweggenommen wird und es nur eine Blickrichtung gibt. Doch um die Filmhandlung auf der Leinwand verfolgen zu können, bedarf es mehrerer Fixationen unterschiedlicher Objekte und Personen im Bild (vgl. Abb. 7). Um diese Fixationen leisten zu können, kommen mehrere Vergenzwinkeländerungen hinzu, die ebenfalls Zeit beanspruchen. Eine Konvergenzwinkeländerung von 3° bspw. dauert etwa 175 ms und Divergenzwinkeländerungen dauern noch länger⁸².

Auch wenn die globalen Fusionen des Stereobildes zeitlich unabhängig erfolgen, da sie an die lokalen Fusionen gekoppelt sind, sind jene hingegen sehr wohl an Zeiten gebunden. Die Wahl der Brennweite nimmt die Aufmerksamkeit auf einzelne Objekte inszenatorischen Interesses vorweg. Doch wie die relativen Parallaxen, zwischen den übrigen Objekten, in einem komfortablen Rahmen gehalten werden müssen, kommt in puncto Tiefenkontinuität hinzu, dass das Bild nicht mit machbaren Fixationsmöglichkeiten überladen sein darf. Selbst wenn diese im Rahmen komfortabler Parallaxen liegen, kosten sie Zeit und Anstrengung. Der Komfort ist an diesem Punkt schwer zu kalkulieren. Je nach Bildinhalt, gibt es mal mehr und mal weniger gegenläufige Bewegungen von zwei oder mehreren Objekten, von Vor- nach Hintergrund oder komplexe Strukturen in einer Szenerie selbst. Unabhängig von komfortablen Parallaxen bleibt daher die Komplexität des Stereobildes ein Faktor, der in seiner Verträglichkeit zunächst nur durch Antizipieren möglicher Fixationen und Empathie für den Zuschauer, eingeschätzt werden kann.

Mit dem bisher vorliegenden Kenntnissen lassen sich allerdings Aussagen treffen, die dem Ideal des komfortablen Kinoerlebnisses sehr nahe kommen:

1. Bilder mit großem Stereobudget sollten mit einem langsamen Schnittrhythmus einher gehen. Ein hohes Schnitttempo arbeitet gegen die Tiefenwahrnehmung, da ein Schnitt die Anzahl an machbaren Fixationen (d.h. der verschiedenen Vergenzwinkeländerungen) zeitlich limitiert.⁸³

81 Vgl. O Salmon: Lecture 19., 2013: S. 2

82 Vgl. O Salmon: Lecture 14., 2013: S. 1

83 Vgl. Hottong, 2011: Folie 32

2. Schnitte zwischen Bildern, die starke Unterschiede im Stereobudget aufweisen, sollten vermieden werden.⁸⁴ Das Einhalten der kontinuierlichen Komfortzone hebt den Akkomodation-Vergenz-Konflikt nicht auf! Daraus folgt, dass große Vergenzwinkeländerungen anstrengender und somit unkomfortabler sind als kleine. Dies hat wiederum zur Folge, dass die einzelnen Einstellungen einer Sequenz so geschnitten werden sollten, dass die aufeinander folgenden Stereobudgets kontinuierlich zu- oder abnehmen. Dies erhöht nochmals die Dringlichkeit einer engen Absprache, zwischen den Departments Stereographie, Kamera und Regie; ähnlich wie die Wahl der Brennweite und die Positionierung der Kamera im Raum. So sollte beim Planen der Einstellungen, schon die Tiefenkontinuität in einem Schnittkonzept für die Montage, mit eingearbeitet werden.
3. Bilder mit off-screen Elementen sind in der Regel anstrengender und unkomfortabler, als reine in-screen Bilder. Sie verlangen dem Rezipienten im höheren Maße Divergenzwinkeländerungen ab, die länger dauern.

Zusammengefasst ist die Tiefenkontinuität ein Faktor des Sehkomforts, der sich nicht allein auf technische Sauberkeit innerhalb einzelner Bilder zurückführen lässt, sondern sich auf die gesamte Montage des Filmes bezieht.

84 Vgl. Hottong, 2011: Folie 32

7 Das Fazit

Die Vermeidung des Akkomodation-Vergenz-Konflikts beim Betrachten stereoskopischer Bilder ist nicht möglich. Die räumliche Wahrnehmung von Fixationen vor und hinter der Leinwand, lassen Vergenzentfernungen variieren, während die Akkomodationsentfernung stets gleich bleibt.

Die Forschungsergebnisse von Martin S. Banks und seinem Team beweisen empirisch, dass der Akkomodation-Vergenz-Konflikt zu Ermüdungserscheinungen führt. Gleichzeitig geben seine Ansätze, zur kontinuierlichen Komfortzone, jedoch Aufschluss über komfortable Rahmen, in denen dieser Konflikt auftreten kann, ohne Unwohlsein zu bewirken. Durch die Vergleichbarkeit des Sehapparates mit zwei stereoskopisch aufzeichnenden Kameras, lassen sich die nötigen technischen Parameter, zur Einhaltung dieser komfortablen Rahmen, mathematisch ermitteln. So kann der Stereograph die relativen Parallaxen seines Bildes an das komfortable Maß angleichen. Unabhängig von der Vergleichbarkeit zwischen stereoskopischem Kamerasetting und dem Sehapparat, unterscheidet sich die Sehsituation im Kinosaal, im Kern jedoch in einem wichtigen Punkt: Es sind unterschiedliche Betrachtungsabstände vorhanden. Der Sehapparat generiert ein räumliches Bild, nur für einen Blickwinkel zur Zeit. Der Betrachter hat dabei zu jedem Zeitpunkt einen festen Betrachtungsabstand zu einer Szenerie. Auch die Kameras generieren das Bild über einen Kamerawinkel zur Zeit. Im Kinosaal, nehmen jedoch mehrere Betrachter, mit unterschiedlichen Blickwinkeln, zu der abgebildeten Szenerie Platz.

Ab dem sweet-spot erhält ein Zuschauer ein 1:1 Verhältnis seiner Querdisparität, mit den relativen Parallaxen des Stereobildes. Dieses Verhältnis verändert sich zum bad-spot auf 1:2, bis hin zu 1:3,3 am Platz in der ersten Reihe. Somit wird die räumliche Auflösung im vorderen Drittel des Kinosaals, immer deutlich schlechter ausfallen. Da die räumliche Auflösung jedoch das wichtigste Qualitätsmerkmal eines 3D Filmes ausmacht, arbeitet der Stereograph in seiner Kalkulation dagegen an. Nun ergeben sich die relativen Parallaxen aus dem Kamerawinkel, zur Zeit der Aufnahme, die Querdisparität ergibt sich aus dem Blickwinkel des Zuschauers auf die Leinwand. Der Stereograph muss also den Kamerawinkel des Bildes möglichst so gestalten, dass dessen Größe einen Kompromiss zu den vielen unterschiedlichen Blickfeldern im Kinosaal ausmacht. Dieser Kompromiss beinhaltet ebenfalls die richtige Distanz des Kamerawinkels zur Leinwand.

Abhängig von der verwendeten Brennweite entscheidet sich der Kamerawinkel durch die Distanz, in der die Kameras zum Objekt inszenatorischen Interesses platziert werden. Über die Brennweite reguliert sich allerdings gleichzeitig auch die Distanz zwischen Kamerawinkel und Leinwand. Allein wegen dieses Umstands will die Brennweite sorgsam gewählt sein.

Der interachsiale Abstand der Kameras, steht im selben Verhältnis zur Distanz des Kamerawinkels im Kinosaal, wie die Brennweite. Deswegen könnte ein Angleichen an die optimale Distanz des Kamerawinkels über ihn erfolgen. Man muss dabei jedoch bedenken, dass das Stereobudget mit Änderungen am interachsialen Abstand, sofort verkleinert oder vergrößert wird. Dadurch verändern sich die relativen Parallaxen gleich mit. Man greift durch diese Maßnahme also direkt in den Sehkomfort ein. Auf der anderen Seite führt der Faktor der Brennweitenkompensation gegebenenfalls zu einer Irritation in der Größe von wahrgenommenen Volumen. Diese Irritation müsste wiederum evtl. durch eine Vergrößerung des interachsialen Abstands behoben werden. So können sich die Qualität des räumlichen Eindrucks und der Sehkomfort schnell in die Quere kommen, wenn die Brennweite und der interachsiale Abstand ungünstig gewählt sind.

Doch unter der Einhaltung eines sorgsam gewählten Stereobudgets und einer durchdachten Positionierung der Kameras zur Inszenierung, ist die Schaffung eines komfortablen Kinoerlebnisses soweit möglich und kalkulierbar. Und durch entsprechend präparierte Kontrollmonitore, sogar laufend kontrollierbar. Selbst mit Blick auf die Tiefenkontinuität in der Montage, ist das Einhalten komfortabler Stereobudgets eher eine Frage der Organisation und Absprache, als der physischen Verträglichkeit. Selbst wenn es um den komfortablen Wechsel der Stereobudgets, zwischen aufeinander geschnittenen Einstellungen geht.

Ein Faktor, der jedoch trotz komfortabler relativer Parallaxen innerhalb des Bildes problematisch werden kann, ist die Komplexität eines Bildes. Wenn sich bspw. mehrere Objekte gleichzeitig bewegen und vielseitige Fixationsmöglichkeiten in kurzer Zeit anbieten, erfolgen auch mehrere Vergenzwinkeländerungen, um diese zu machen. Martin S. Banks und Team haben ihren Probanden bspw. in 45 min 1230 Bilder mit auftretendem Akkomodation-Vergenz-Konflikt gezeigt. Ein Bild stand somit durchschnittlich ca. 2,195 sek. lang. Im Kino wird auch mal schneller geschnitten und die Bilder bewegen sich dabei. An dieser Stelle gibt es daher noch Klärungsbedarf und weitere Forschungen sind notwendig.

Abschließend lässt sich über den Akkomodation-Vergenz-Konflikt sagen, dass er in puncto Sehkomfort, eine kalkulierbare Hürde darstellt. Es kann aber in Abhängigkeit von den jeweiligen Verantwortlichen, natürlich Unterschiede in der Qualität von Sehkomfort und räumlicher Auflösung geben. Es verlangt sowohl stereoskopisch mathematisches Können und eine große Kreativität im Umgang mit der Positionierung der Kamera zur Inszenierung und der Wahl der geeigneten Brennweite, als auch eine umfassende Organisation und Absprache zwischen Stereographie, Kamera und Regie. Diese Faktoren können mal mehr und mal weniger vorhanden sein. Somit kann auch der Sehkomfort neben der räumlichen Wahrnehmung zu kurz kommen und umgekehrt. Doch den Akkomodation-Vergenz-Konflikt als Grenze der stereoskopischen Bildgestaltung zu bezeichnen wäre eindeutig zu starr.

Literaturverzeichnis

JULESZ, Béla: Foundations of Cyclopean Perception, London 2006 (MIT Press)

HOFFMAN, David M.; GIRSHICK, Ahna R.; AKELEY, Kurt; BANKS, Martin S. (2008): Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. In: Journal of Vision Vol. 8, No. 3, Artikel 33, 28.03.2008.

HOTTONG, Nikolaus: S3D: Gutes Stereobild - Schlechtes Stereobild. Technische Konsequenzen aus der Wahrnehmungspsychologie des Menschen. Vortrag: TU Ilmenau Media Event, 21.06.2011 [Stand 23.05.2013] http://www2.tu-ilmenau.de/mediaevent/blog/uploads/2011/TUIlmenauMediaEvent_VortragHottong_Druckversion.pdf.

GOERSCH, Helmut: Die Grundlagen der Stereopsis. Köln, Vortrag: 32. Jahreskongress der WVAO, 14.05.1980 [Stand 23.05.2013] http://www.ivbs.org/fileadmin/user_upload/Dateien/Literaturliste/Goersch_NOJ_11-80.pdf.

O SALMON, Thomas: Binocular Vision Series. Lecture 19 – Neurophysiology of Binocular Vision. Tahlequah, Oklahoma, USA: Northeastern State University, Lecture Notes [Stand: 25.07.2013] http://arapaho.nsuok.edu/~salmonto/vs3_materials/Lecture19.pdf.

O SALMON, Thomas: Binocular Vision Series. Lecture 4 – Motor Fusion & Vergence Eye Movements. Tahlequah, Oklahoma, USA: Northeastern State University, Lecture Notes [Stand: 25.07.2013] http://arapaho.nsuok.edu/~salmonto/vs3_materials/Lecture4.pdf.

O.V.: Versuchstag 5: Perimetrie. Mainz: Johannes Gutenberg Universität Mainz, Protokoll, 11.05.2011 [Stand: 06.06.2013] http://www.staff.uni-mainz.de/freesec/Download/Tierphysiologie/Protokoll5_Perimetrie.pdf.

SHIBATA, Takashi; KIM, Joohwan; HOFFMAN, David M.; BANKS, Martin S. (2011): The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays. In: Journal of Vision Vol. 11, No. 8, Artikel 11, 11.08.2011.

SIRAGUSANO, Daniele: Target screensize for stereoscopic feature film. New York, Vortrag: SMPTE International Conference on Stereoscopic 3D for Media and Entertainment, 13. - 14.07.2010

SIRAGUSANO, Daniele: Stereoscopic volume perception. New York, Vortrag: SMPTE 2nd Annual International Conference on Stereoscopic 3D Media Entertainment, 21. - 22.06.2011.

STRASBURGER, Hans; RIESS, Janosch; PLISCHKE, Herbert: 3D TV. Health Related Issues from a psychophysiological perspective. Bad Tolz: The Generation Research Program of the University of Munich, White Paper, 2010.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, den TT. Monat JJJJ Vorname Nachname